

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

David Gerhardinger

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori

Prof. dr. sc. Zoran Lulić, dipl. ing.

Student

David Gerhardinger

Zagreb, 2013.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno stečenim znanjem prije i tijekom studija,
koristeći navedenu literaturu.

Zahvaljujem se

David Gerhardinger



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija zrakoplovstva



Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **David Gerhardinger**

Mat. br.: 0035158580

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

**Cox 020 - Motor s unutarnjim izgaranjem za pogon zrakoplovnih
modela**

Naslov rada na
engleskom jeziku:

Cox 020 - Internal Combustion Engine for Flying Models

Opis zadatka:

Za najmanji serijski proizvođen dvotaktni motor s unutarnjim izgaranjem "Cox 020" koji se u pravilu koristio za pogon letećih modela (slobodnoletećih ili radiupravljanih) treba napraviti analizu osnovnih parametara motora i njegovih performansi.

U okviru završnog rada treba:


- navesti i opisati najznačajnije motore s unutarnjim izgaranjem za pogon letećih modela,
- opisati konstrukcijsku izvedbu motora "Cox 020",
- opisati pripremu gorive smjese za motor "Cox 020",
- navesti parametre rada motora "Cox 020" u različitim režimima rada,
- odrediti brzinu vrtnje motora,
- prema dostupnoj literaturi analizirati utjecaj sastava goriva na performanse motora.

Pri izradi treba se držati pravila koja su uobičajena za izradu semestralnih radova kao i posebnih pravila za izradu završnog rada. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

16. studenog 2012.

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Zoran Lulić


Rok predaje rada:

- 1. rok: 15. veljače 2013.
- 2. rok: 11. srpnja 2013.
- 3. rok: 13. rujna 2013.

Predviđeni datumi obrane:

- 1. rok: 27., 28. veljače i 1. ožujka 2013.
- 2. rok: 15., 16. i 17. srpnja 2013.
- 3. rok: 18., 19., i 20. rujna 2013.

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Ivica Smojver

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA	VI
Sažetak	VIII
1. UVOD.....	1
1.1. Što je aeromodelarstvo.....	1
1.2. Što su aeromodeli.....	1
1.3. Kategorije natjecateljskih modela.....	1
1.4. Pregled pogonskih sustava aeromodela	1
1.4.1. Motori s unutarnjim izgaranjem	2
1.4.1.1. Motori sa grijaćom svjećicom	2
1.4.1.2. Dieselovi motori.....	3
1.4.2. Elektropogoni	4
1.4.3. Namotana gumena traka i komprimirani plin	4
1.4.4. Mlazni i raketni motori	4
2. NAJZNAČAJNIJI COX MOTORI SA UNUTARNJIM IZGARANJEM ZA POGON LETEĆIH MODELA	5
2.1. „Cox Babe Bee 049“	5
2.2. „Cox Pee Wee 020“	6
2.3. „Cox Tee Dee 020“	7
2.4. „Cox Golden Bee“	8
2.5. „Cox QZ“	8
2.6. „Cox QRC“	9
2.7. „Cox RC Bee“	9
2.8. „Cox Dragon Fly“	10
2.9. „Cox Texaco“	10
2.10. „Texaco Jnr.“	11
3. KONSTRUKCIJSKA IZVEDBA MOTORA "Cox 020"	12
3.1. Grijača glava	15
3.2. Cilindar	15
3.2.1. Postupak izrade cilindra za motor "Pee Wee 020"	16
3.3. Klip i klipnjača.....	17
3.4. Kućište koljenastog vratila i koljenasto vratilo.....	17
3.5. Spremnik goriva i priprema gorive smjese	18
4. GORIVO I PRIPREMA GORIVE SMJESE ZA MOTOR "Cox 020"	20
4.1. Metanol	20
4.2. Nitrometan	20

4.3.	Maziva ulja	21
4.3.1.	Ricinusovo ulje	22
4.3.2.	Sintetička ulja	23
4.3.3.	Mješavina sintetičkog i ricinusovog ulja	23
4.4.	Postupak pripreme gorive smjese	23
4.4.1.	Goriva mješavina s ricinusovim uljem	24
4.4.2.	Goriva mješavina sa sintetičkim i ricinusovim uljem	24
5.	UTJECAJ SASTAVA GORIVA NA PERFORMANSE MOTORA	26
5.1.	Utjecaj metanola na performanse.....	26
5.2.	Utjecaj omjera metanola i ricinusovog ulja na performanse.....	26
5.3.	Utjecaj nitrometana na performanse	26
5.4.	Ispitivanje utjecaja goriva na performanse motora	27
5.4.1.	Ispitivanje utjecaja goriva na performanse promjenom volumnog udjela ricinusovog i sintetičkog ulja u mješavini.....	27
5.4.2.	Ispitivanje utjecaja goriva na performanse promjenom volumnog udjela nitrometana u mješavini	27
5.5.	Izračun gustoće i ogrjevnosti vrijednosti gorive mješavine.....	28
5.6.	Zaključak utjecaja goriva na performanse	31
6.	PARAMETRI RADA MOTORA "COX 020" U RAZLIČITIM REŽIMIMA RADA	32
6.1.	Mjerenje baždarenim propelerima	33
6.2.	Određivanje okretnog momenta generatorskim dinamometrom.....	36
6.3.	Reakcijski dinamometar.....	38
6.4.	Hidraulički dinamometar	40
6.5.	Inercijski dinamometar	41
6.6.	Usporedba metoda	43
7.	ODREĐIVANJE BRZINE VRTNJE MOTORA.....	44
7.1.	Optičke metode mjerenja brzine vrtnje.....	47
7.2.	Magnetske metode mjerenja brzine vrtnje	48
7.3.	Zvučna metoda mjerenja brzine vrtnje.....	50
8.	Mjerenje brzine vrtnje motora	54
9.	Zaključak	55
10.	LITERATURA	57
	PRILOZI.....	59

POPIS SLIKA

Slika 1. Zvezdasti motor za pogon modela zrakoplova. [10].....	2
Slika 2. Primjer motora sa grijaćom svjećicom. [9]	3
Slika 3. Primjer Diesellovog motora. [9]	3
Slika 4. „Cox Babe Bee 049“, proizveden 1970. g. [2].....	5
Slika 5.“Pee Wee 020“, proizveden 1969. g. [2].....	7
Slika 6.“Pee Wee 020 R/C“, proizveden 1994.g. [2]	7
Slika 7.“Tee Dee 020“ proizveden 1978. g.[2]	8
Slika 8.“Cox Golden Bee“, proizveden 1962. g.[2]	8
Slika 9.“Cox QZ“, proizveden 1966. g. [2]	9
Slika 10.“Cox QRC“, proizveden 1983. g. [2]	9
Slika 11. "Cox RC Bee", proizveden 1979. g. [2].....	10
Slika 12.“Cox Dragon Fly“, proizveden 1995. g. [2]	10
Slika 13.“Cox Texaco“, proizveden 1998. g. [2].....	11
Slika 14.“Cox Texaco Jnr.“, proizveden 1990. g. [2].....	11
Slika 15. Dimenzije motora "Tee Dee 020". [11]	13
Slika 16. Prikaz dijelova konstrukcije motora "Pee Wee 020". [12]	14
Slika 17. Grijača glava svih modela motora "Pee Wee 020". [7]	15
Slika 18. Izrada cilindra, prvi korak. [2]	16
Slika 19. Izrada cilindra, drugi korak. [2]	16
Slika 20. Izrada cilindra, treći korak. [2].....	16
Slika 21. Izrada cilindra, četvrti korak. [2]	16
Slika 22. Cilindar s klipom i klipnjačom. [13].....	17
Slika 23. Klip i klipnjača. [13]	17
Slika 24. Kućište koljenastog vratila. [15]	18
Slika 25. Koljenasto vratilo i pričvrtna ploča propelera. [16]	18
Slika 26. Sklop za pohranu goriva i pripremu gorive smjese. [14]	18
Slika 27. Stražnja stjenka spremnika goriva. [14].....	18
Slika 28. Prednja stjenka spremnika goriva. [14].....	19
Slika 29. Igličasti ventil sa oprugom. [14]	19
Slika 30. Brtva kućišta koljenastog vratila - desno, jednosmjerni ventil- sredina i venturijeva brtva - lijevo. [14].....	19
Slika 31. Vijci kućišta. [14].....	19

Slika 32. Skica presjeka motora „Pee Wee 020“ s elementima za pripremu gorive smjese. ...	19
Slika 33. Alat za "resetiranje" zgloba klipa. [17]	22
Slika 34. Biljka ricin od koje se proizvodi ricinusovo ulje. [18]	22
Slika 35. Sastav goriva.	25
Slika 36. Utjecaj nitrometana na performanse motora.	31
Slika 37. Metode mjerenja okretnog momenta motora za pogon modela zrakoplova. [19]	32
Slika 38. Baždareni propeleri. [20]	33
Slika 39. Primjer dijagrama karakteristike snage u ovisnosti o brzini vrtnje. [20]	34
Slika 40. Ogledni primjer, krivulja okretnog momenta i brzine vrtnje. [20]	35
Slika 41. Prikaz dinamometra iz časopisa „Aero Modeller“. [19]	36
Slika 42. Princip rada Dinamometra sa izmjeničnom strujom. [19]	37
Slika 43. Reakcijski dinamometar i izumitelj Dave Girke. [19]	38
Slika 44. Reakcijski dinamometar sa mjerачem brzine vrtnje. [19].....	39
Slika 45. Kirkov hidraulički dinamometar. [19]	40
Slika 46. Froudeov hidraulički dinamometar. [21]	41
Slika 47. Ispitivanje motora inercijskim dinamometrom. [19]	43
Slika 48. Radna točka određena snagom i brzinom vrtnje. [3]	44
Slika 49. Dijagram brzinskih karakteristika motora "Pee Wee 020". [1].....	45
Slika 50. Dijagram brzinskih karakteristika motora "Tee Dee 020". [4]	46
Slika 51. Stalak za pričvršćivanje Cox motora. [22].....	47
Slika 52. Optički mjerач brzine vrtnje laserskom zrakom. [23].....	48
Slika 53. Princip rada senzora sa promjenjivim magnetskim poljem i senzora sa efektom polja. [24]	49
Slika 54. Shema mjerenja Wiegandovim senzorom. [25]	50
Slika 57. Instrument za određivanje brzine vrtnje dvotaktnog motora, proizvođač Aeroboss, model AT.2.....	51
Slika 58. Instrument za određivanje brzine vrtnje dvotaktnog motora, proizvođač Aeroboss, model AT.3. [28]	51
Slika 55. Signal A zabilježen kao napon sa mikrofona i nakon Fourierove transformacije. [29]	52
Slika 56. Signal B zabilježen kao napon sa mikrofona i nakon Fourierove transformacije. [29]	53

POPIS TABLICA

Tablica 1. Specifikacije motora "Pee Wee 020"	13
Tablica 2. Opis dijelova konstrukcije motora "Pee Wee 020"	14
Tablica 3. Udjeli, gustoće i donje ogrjevnne vrijednosti [6]	30

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
F	N	Sila na određenom kraku (kao posljedica djelovanja momenta motora).
FAI	-	<i>Fédération Aéronautique Internationale.</i>
K	-	Konstanta kalibriranih propelera.
K_2	-	Druga konstanta kalibriranih propelera.
L	m	Duljina kraka mjernog instrumenta.
M	Nm	Okretni moment.
n	$\frac{o}{s}$	Brzina vrtnje propelera.
P_e	W	Efektivna snaga motora.
Q_d	$\frac{MJ}{kg}$	Donja ogrjevna vrijednost smjese.
$Q_{d,m}$	$\frac{MJ}{kg}$	Donja ogrjevna vrijednost metanola.
$Q_{d,nm}$	$\frac{MJ}{kg}$	Donja ogrjevna vrijednost nitrometana.
$Q_{d,nm}$	$\frac{MJ}{kg}$	Donja ogrjevna vrijednost nitrometana.
$Q_{d,u}$	$\frac{MJ}{kg}$	Donja ogrjevna vrijednost ricinusovog ulja.
ρ_m	$\frac{kg}{m^3}$	Gustoća metanola.
ρ_{mj}	$\frac{kg}{m^3}$	Gustoća mješavine.
ρ_{nm}	$\frac{kg}{m^3}$	Gustoća nitrometana.
ρ_u	$\frac{kg}{m^3}$	Gustoća ricinusovog ulja.
χ_m	$\frac{kg}{kg}$	Maseni udio metanola.
χ_{nm}	$\frac{kg}{kg}$	Maseni udio nitrometana.
χ_u	$\frac{kg}{kg}$	Maseni udio ricinusovog ulja.

χ_{mv}	$\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$	Volumni udio metanola.
χ_{nmv}	$\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$	Volumni udio nitrometana.
χ_{uv}	$\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$	Volumni udio ricinusovog ulja.
ω	$\frac{\text{o}}{\text{s}}$	Kutna brzina vrtnje koljenastog vratila.
M_m	$\frac{\text{kg}}{\text{mol}}$	Molarna masa metanola.
M_{nm}	$\frac{\text{kg}}{\text{mol}}$	Molarna masa nitrometana.
M_u	$\frac{\text{kg}}{\text{mol}}$	Molarna masa ricinusovog ulja.

Sažetak

U radu je ukratko opisano aeromodelarstvo, kategorije aeromodelarstva i pogonski sustavi koji se u aeromodelarstvu koriste.

Dan je pregled najznačajnijih motora sa unutarnjim izgaranjem za pogon modela zrakoplova tvrtke "Cox" i detaljnije analizirana serija motora sa oznakom "020" ("Pee Wee 020" i "Tee Dee 020").

Za motor "Pee Wee 020" opisana je konstrukcijska izvedba sa specifikacijama, osnovnim dimenzijama i detaljnijim opisom glavnih dijelova.

Opisani su sastojci te postupak pripreme gorive smjese za motore serije "020".

Analiziran je utjecaj sastava goriva na performanse motora i objašnjena uloga svakog sastojka smjese.

Opisani su najpoznatiji postupci mjerenja okretnog momenta motora malih radnih volumena za pogon modela zrakoplova.

Opisani su optički, magnetski i zvučni postupci mjerenja brzine vrtnje motora za pogon modela zrakoplova.

Napravljena je priprema za mjerenje brzine vrtnje.

1. UVOD

1.1. Što je aeromodelarstvo

Aeromodelarstvo je aktivnost u kojoj aeromodelar izrađuje i/ili leti model zrakoplova.

Bitna odrednica aeromodelarstva je da su aeromodeli uvijek leteći modeli zrakoplova, a ne makete (iako se rade i leteće makete).

Također valja razlikovati natjecateljsko od rekreativnog aeromodelarstva. Natjecateljsko aeromodelarstvo pruža mogućnost natjecanja u različitim kategorijama odnosno klasama koje razlikuju modele aviona po raznim osnovama.

Aeromodelarstvom se danas bavi široki krug ljudi neovisno o dobnoj skupini, zanimanju i stručnoj spremi.

1.2. Što su aeromodeli

Aeromodeli mogu biti umanjene kopije pravih komercijalnih, akrobatskih ili vojnih zrakoplova ili izvorne (originalne) konstrukcije optimirane za željene letne osobine.

Krovna organizacija svih udruga koje se bave zračnim aktivnostima kao što su padobranstvo, zrakoplovno jedriličarstvo, letenje sportskim zrakoplovima, letenje zmajevima, balonarstvo i aeromodelarstvo *Fédération Aéronautique Internationale*, skraćeno FAI, definira aeromodelarstvo na sljedeći način:

„Model zrakoplova je naprava teža od zraka, određenih dimenzija sa ili bez motora koja može letjeti, ali ne može ponijeti čovjeka“.

Ovakva definicija je prilično široka i općenita, te je dodatno određena maksimalnom masom modela u letu koja iznosi 25 kg, maksimalnom površinom krila modela od 500 dm² (odnosno 5 m²), a ukoliko ima motor (ili više njih) njihov radni volumen ne smije biti veći od 250 cm³.

1.3. Kategorije natjecateljskih modela

Prema FAI-u natjecateljski modeli podijeljeni su u 5 kategorija

- F1 – Modeli za slobodni let.
- F2 - Modeli vezanim žicom.
- F3 - Modeli upravljani radio uređajem.
- F4 - Leteće makete.
- F5 - Modeli pogonjeni elektromotorom i upravljani radio uređajem.

Kako su ove kategorije dosta općenite svaka je dalje podijeljena na klase. Svaka vrsta modela označena je slovnim oznakom F koja označava aeromodel, zatim brojkom od 1 do 5 koja određuje kategoriju modela i nakon toga opet slovnim oznakom koja određuje klasu modela.

1.4. Pregled pogonskih sustava aeromodela

Aeromodeli mogu koristiti ugrađeni pogonski sustav, najčešće su to motori sa unutarnjim izgaranjem ili elektromotori.

Također postoje izvedbe u kojima se pogon ostvaruje namotanom gumenom trakom, komprimiranim plinom, mlaznim i raketnim motorom.

1.4.1. Motori s unutarnjim izgaranjem

Motori sa unutarnjim izgaranjem za pogon zrakoplovnih modela mogu biti izvedeni kao jednocilindrični ili više-cilindrični te kao dvotaktni ili četverotaktni motori. Raspored cilindara više cilindričnih motora može biti bokser, V-oblik, zvjezdasti i redni. Postoje i Wankel izvedbe.



Slika 1. Zvjezdasti motor za pogon modela zrakoplova. [10]

Radni volumeni dvotaktnih motora kreću se od $0,16 \text{ cm}^3$. do $0,66 \text{ cm}^3$.

Radni volumen jednocilindričnih četverotaktnih motora najčešće sežu od $3,3 \text{ cm}^3$. do 50 cm^3 . dok su za više-cilindrične izvedbe radni volumeni u rasponu od 10 cm^3 . do 200 cm^3 .

Uobičajene brzine vrtnje kreću se između 10000 i 30000 okretaja u minuti.

Po načinu rada postoje dvije osnovne vrste motora za pogon modela zrakoplova, to su motori sa grijaćom svjećicom i Dieselovi motori.

1.4.1.1. Motori sa grijaćom svjećicom

Kao gorivo za takve motore [9] koristi se mješavina s volumnim udjelima:

- Metanol (CH_3OH), (od 70 % do 40 %),
- Nitrometan (CH_3NO_2), (od 10 % do 40 %),
- Ricinusovo ili sintetičko ulje, (oko 20 %).

Tokom pokretanja grijača svjećica se spaja sa izvorom električnog napona. U pravilu to je akumulator istosmjerne struje napona 1,5 do 12V. Zakretanjem elise dolazi do pomicanja klipa u cilindru, koji komprimira svježje usisanu smjesu te uslijed kontakta sa zažarenom svjećicom dolazi do zapaljenja gorive smjese. Poželjno je da je goriva smjesa pri paljenju bogata, a u režimu normalnog rada se osiromašuje zakretanjem vijka za korekciju bogatstva smjese.

Nakon zapaljenja napon na grijaćoj svjećici više nije potreban i nastavak rada motora se temelji na kemijskoj reakciji platine i pare metanola koja povećava temperaturu grijače svjećice i osigurava zapaljenje smjese sljedećeg ciklusa.

Grijače svjećice se koriste za pokretanje i nastavak radnog ciklusa. Sastoje se od elektro otporne žice namotane u obliku zavojnice unutar djela tijela koje je izloženo prostoru za izgaranje.



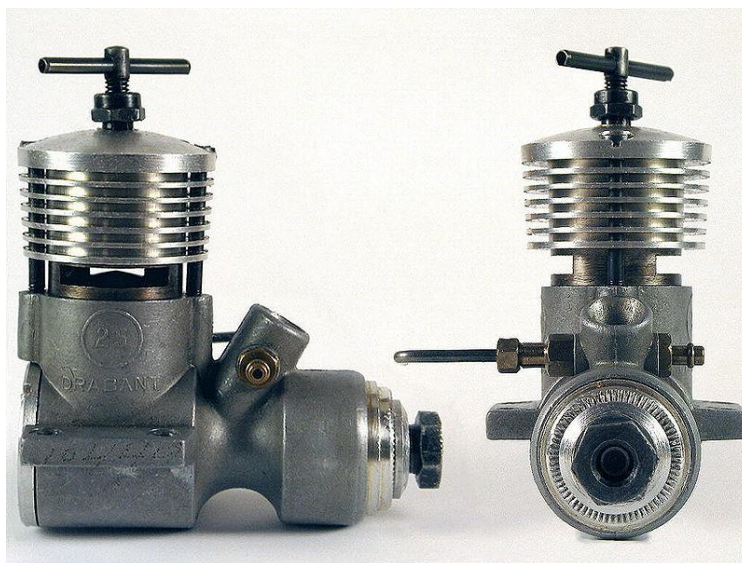
Slika 2. Primjer motora sa grijaćom svjećicom. [9]

1.4.1.2. Diesellovi motori

Gorivo takvih motora je mješavina kerozina, etera, ricinusovog ili biljnog ulja te amil nitrata $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{ONO}_2$. [9]

Pokretanje diesellovog motora provodi se zakretanjem elise uz istovremeno povećanje kompresijskog omjera zakretanjem kompresijskog vijka. Poželjno je da je goriva smjesa pri paljenju bogata dok se u režimu normalnog rada osiromašuje zakretanjem vijka za korekciju bogatstva smjese.

Kompresijski vijak kod ovog tipa motora omogućava promjenu kompresijskog volumena pomicanjem "kontra-klipa" u glavi cilindra.



Slika 3. Primjer Diesellovog motora. [9]

1.4.2. Elektropogoni

Električna energija elektromotorima najčešće se dovodi baterijom. Promjena potisne sile vrši se potenciometrom.

Najveći ograničavajući faktor ovakvog pogona je masa baterije.

Prvi elektromotori bili su pogonjeni istosmjernom strujom iz punjivih nikal-kadmij (NiCad) baterija. Takav pogon osigurao je 5 do 10 minuta leta (motor sa unutarnjim izgaranjem jednake mase pružao bi dvostruko vrijeme leta). Kasniji elektromotori koristili su nikal-metal-hidrid (NiMh) baterije omogućujući produljeno vrijeme leta. Današnji elektromotori pogonjeni su litij-polimer baterijama koje se po omjeru mase i dobivenog vremena leta približavaju, pa čak i nadmašuju motore sa unutarnjim izgaranjem. Problem ovakvih baterija je relativno kratki vijek trajanja i visoka cijena. Nedavne promjene na tržištu uzrokovale da od 2010. godine ovo postane najbrže rastuća grana aeromodelarstva. Osim pogona baterijama u aeromodelarstvu postaje popularan i pogon sunčevom energijom. 2005. Godine postavljen je svjetski rekord u letenju modela zrakoplova pogonjenog sunčevom energijom, zrakoplov je letio 48 sati i 16 minuta. [9]

1.4.3. Namotana gumena traka i komprimirani plin

Ove izvore potisne sile ubrajamo u "hladne" budući da gube unutarnju energiju tokom svoga rada za razliku od motora s unutarnjim izgaranjem i baterija.

Pogon namotanom gumenom trakom naziva se još i elastični motor. Elastični motor ubraja se među najstarije načine pogona modela zrakoplova. Pogon se vrši namatanjem gumene trake koja svojim otpuštanjem zakreće elisu modela. Ova metoda je najrasprostranjeniji način pogona, koristi se od pogona dječjih igračaka pa sve do ozbiljnijih natjecateljskih modela. Elastični motor nudi jednostavnost i trajnost ali uz ograničeno vrijeme leta, smanjenje potisne sile sa vremenom rada i izvjesna naprezanja u trupu modela. Natjecateljski modeli zrakoplova sa ugrađenim elastičnim motorom mogu postići vrijeme leta od čak jednog sata!

Komprimirani plin, najčešće ugljični dioksid (CO_2), također se koristi u pogonu modela. Princip pogona seže od jednostavnijih (sličnih balonima za napuhavanje) pa sve do složenijih u kojima ekspandirajući plin pokreće klipni motor spojen na elisu. [9]

1.4.4. Mlazni i raketni motori

Turbomlazni motori za pogon modela zrakoplova predstavljaju jednostavnije verzije turbomlaznih motora koji pogone komercijalne zrakoplove. Ovakvi pogonski sustavi složeniji su za izradu i tek u novije vrijeme našli su svoje mjesto u zrakoplovnom modelarstvu. Kao gorivo koriste A1 mlazno gorivo i sintetičko ulje za turbomlazne motore ili ulje za dvotaktne motocikle. Komercijalni raketni motori za pogon modela zrakoplova najčešće se kupe sastavljeni i kao takvi postavljaju na trup modela. Raketni motori osiguravaju intenzivnu i kratku (manje od 10 sekundi) potisnu silu izgaranjem najčešće krutog goriva. Zbog eksplozivne naravi goriva raketni motori se u zrakoplovnom modelarstvu suočavaju sa najvećom razinom sigurnosnih ograničenja!

Pulse jet motori također se koriste za pogon modela zrakoplova. Ovakvi motori omogućavaju veliki omjer potisne sile i mase motora ali mali omjer potisne sile i potrošnje goriva. Također je nedostatak ovakvih motora stvaranje velike buke tokom rada, što je uzrokovalo zabranu njihovog korištenja u nekim državama. [9]

2. NAJZNAČAJNIJI COX MOTORI SA UNUTARNJIM IZGARANJEM ZA POGON LETEĆIH MODELA

Motori sa unutarnjim izgaranjem tvrtke "COX", postali su tokom svoje pedesetogodišnje proizvodnje (*od 1950. do 2006. g.*) jedni od najznačajnijih motora za pogon letećih modela zrakoplova.

Svi modeli "COX " motora su dvotaktni motori s unutarnjim izgaranjem s grijaćom svjećicom.

Zbog svoje jednostavnosti i kvalitete izrade te širokog kruga zaljubljenika, potpuno funkcionalni primjerci prve generacije ovih motora postoje i danas. [9]

2.1. „Cox Babe Bee 049"

Proizvodnja ovog modela trajala je od 1956. do 1996. g.

"Babe Bee 049" ima radni volumen $0,8 \text{ cm}^3$. ($0,49 \text{ inch}^3$).

Klip i cilindar načinjeni su od mekog čelika.

Kućište radilice je ekstrudirani i eloksirani aluminij.

Prednost ekstrudiranja kućišta je jeftinija i brža proizvodnja u odnosu na lijevanje.

Postupak eloksiranja provodi se radi povećanja otpornosti na koroziju i poboljšanja adhezije boja i ljepila.

Usisnik zraka nalazi se na stražnjoj strani spremnika goriva te je uz pomoć igličastog ventila moguće podesiti protok goriva koji se miješa sa zrakom.

Ovaj model ima integriran spremnik goriva volumena 5 cm^3 . a najveća zabilježena izlazna snaga mu je bila 42 W pri 13500 okr/min s mješavinom goriva [9] koja je imala volumni sastav:

- metanol (60 %),
- ricinusovo ulje (25 %),
- nitrometan (15 %).



Slika 4. „Cox Babe Bee 049", proizveden 1970. g. [2].

2.2. „Cox Pee Wee 020“

Proizvodnja motora „Cox Pee Wee 020“ je trajala od 1957. do 1996. g.

Napravljen je kao upola manja kopija motora "Cox Babe Bee 049".

Konstruktivski i proizvodno, sve osim veličine bilo je isto.

Radni volumen mu je $0,33 \text{ cm}^3$. ($0,2 \text{ in}^3$.)

Masa ovoga motora zajedno sa integriranim praznim spremnikom goriva i oprugom za pokretanje motora i jednosmjernu vrtnju propelera je 24,5 grama.

Kućište koljenastog vratila napravljeno je od ekstrudirane i eloksirane legure aluminija, postoje sitne razlike u obliku kućišta modela nakon 1975 godine u odnosu na ranije modele bez nekog znatnijeg utjecaja na performanse motora.

Cilindar je načinjen od čelika u jednom komadu odvajanjem čestica.

Cilindar kasnijih modela doživio je znatnije preinake. Deblje stjenke, veće rashladne površine u donjem djelu i malo uži ispušni kanali osigurali su bolja mehanička svojstva u slučaju pada ili nestručnog rukovanja, bolje odvođenje topline i neznatno povećanje kompresije.

Usisnik zraka nalazi se na stražnjoj strani spremnika goriva te je uz pomoć igličastog ventila moguće podesiti protok goriva koji se miješa sa zrakom.

Klip je površinski obrađen (termokemijskim postupkom) čelik sa ravnim čelom, spojen na otvrdnuto čelično koljenasto vratilo.

Još jedna promjena bila je dodavanje prečistača zraka na usisniku zraka koji se kao i kod ranijih modela nalazi na sredini stražnje strane spremnika goriva.

Najnoviji modeli ovoga motora opremljeni su također i radio upravljanim ventilom za određivanje količine ispušnih plinova na izlazu iz motora a time i režima rada.

Glava cilindra je grijaćeg tipa, što znači da je grijač konstruktivski izveden kao integralni dio glave.

Spremnik goriva je integralnog tipa, izrađen je od aluminijske legure te oblikovan tehnologijom odvajanja čestica.

Najveća zabilježena izlazna snaga mu je 26.1 W pri $18500 \text{ }^\circ/\text{min}$ s mješavinom goriva [1]:

- metanol, 50 %,
- ricinusovo ulje, 25 %,
- nitrometan 25 %.



Slika 5. „Pee Wee 020“, proizveden 1969. g.
[2]



Slika 6. „Pee Wee 020 R/C“, proizveden 1994.g. [2]

2.3. „Cox Tee Dee 020“

Proizvodnja je trajala od 1978. do 1996. g.

Radni volumen ovoga motora je $0,33 \text{ cm}^3$ ($0,2 \text{ in}^3$).

Masa zajedno s integriranim praznim spremnikom goriva i oprugom za pokretanje motora i jednosmjernu vrtnju propelera iznosi 24 grama.

Kućiste koljenastog vratila napravljeno je iz ekstrudirane legure aluminijske te je eloksirano u zlatnoj boji.

Cilindar je izrađen od čelične šipke, oblikovan tehnologijom odvajanja čestica.

Klip je površinski obrađen (termokemijskim postupkom) čelik sa ravnim čelom, spojen na otvrdnuto čelično koljenasto vratilo.

Glava cilindra je grijaćeg tipa.

Spremnik goriva je od plastike.

Usisnik zraka je za razliku od motora „Pee Wee 020“ izveden sa prednje strane i uvodi zrak izravno u kućište koljenastog vratila, kao i kod „Pee Wee-a“ moguće je uz pomoć ventila podesiti protok goriva koji se miješa sa zrakom.

Najveća zabilježena izlazna snaga ovoga motora je 41 W pri $23000 \text{ }^\circ/\text{min}$ i mješavinom goriva [4] koja je sadržavala :

- metanol (50 %),
- nitrometan (30 %),
- ricinusovo ulje (20%).



Slika 7. "Tee Dee 020" proizveden 1978. g.[2]

2.4. „Cox Golden Bee"

Proizvodio se od 1957. do 1980. g.

"Golden Bee" je u osnovi "Babe Bee 049" motor sa većim spremnikom goriva (8 cm^3), izrađenog zajedno sa kućištem radilice od aluminijske legure na koju je postupkom eloksiranja nanесeno zlato.

Spremnik za gorivo opremljen je još i pregradom za sprječavanje prelijevanja goriva koji omogućavaju različite položaje zrakoplova i njihove nagle promjene u letu.

Kasnije izvedbe ovog motora izrađivane su s dvostrukim usisnim kanalom čime je dobivena veća snaga. [9]



Slika .8. "Cox Golden Bee", proizveden 1962. g.[2]

2.5. „Cox QZ"

Proizvodio se od 1966. do 1996. g.

Ovaj je motor izveden sa prigušivačem buke i visokotlačnom glavom cilindra.

Ugradnjom visokotlačne glave nastojalo se ublažiti pad efektivne snage zbog prigušivača buke.

Za vrijeme položaja klipa u gornjoj mrtvoj točki, ulaz zraka u kućište radilice bio je onemogućen.



Slika 9. "Cox QZ", proizveden 1966. g. [2]

2.6. „Cox QRC”

Proizvodio se od 1976. do 1996. g.

"QRC" je bio modificirani Babe Bee motor sa prigušivačem buke i većim 8 cm³. spremnikom goriva. 1970-tih godina buka je modelarima postala problem a otkriveno je da prigušivač znatno smanjuje izlaznu snagu Cox-ovim motorima. [9]

Ovaj je problem riješen uz pomoć cilindra kojemu je ulaz zraka za vrijeme položaja klipa u gornjoj mrtvoj točki bio spriječen.



Slika 10. "Cox QRC", proizveden 1983. g. [2]

2.7. „Cox RC Bee”

Proizvodio se od 1976. do 1996. g.

Napravljen je za pogon malih radio upravljanih modela zrakoplova.

"RC Bee" je izveden sa polimernim spremnikom goriva i lijevanim kućištem koljenastog vratila. Lijevanim kućištem se nastojala pojeftiniti proizvodnja no javili su se problemi zbog nesavršenosti izrade i teškoća sa daljnjom obradom.[9]

Posljedično su u proizvodnju vraćena iskušana ekstrudirana kućišta od aluminija.



Slika 11. "Cox RC Bee", proizveden 1979. g. [2]

2.8. „Cox Dragon Fly"

Proizvodnja je trajala od 1982 do 1996. g.

"Dragon Fly" je bio verzija "Babe Bee" motora sa polimernim spremnikom goriva i prigušivačem buke prilagođen za ugradnju na radio upravljane modele zrakoplova. [9]



Slika 12. "Cox Dragon Fly", proizveden 1995. g. [2]

2.9. „Cox Texaco"

Proizvodio se od 1989 do 1996. g.

Ovaj je motor proizveden za natjecanja u razredu radio upravljanih modela i motora radnih volumena do 0.819 cm^3 .

Na glavi cilindra nalazila se dodatna aerodinamička površina čija je funkcija bila povećanje odvođenja topline. Poboljšano odvođenje topline omogućilo je opterećivanje motora većom elisom.

Motor je imao crveno obojani spremnik goriva radnog volumena 8 cm^3 i crno obojano kućište vratila. [9]



Slika 13. "Cox Texaco", proizveden 1998. g. [2]

2.10. „Texaco Jnr.”

Proizvodio se od 1995. do 1996. g.

Konstruktivski je bio izveden na isti način kao i prethodnik ("Texaco") sa jedinom razlikom u manjem spremniku goriva (5 cm^3). [9]



Slika 14. "Cox Texaco Jnr.", proizveden 1990. g. [2]

3. KONSTRUKCIJSKA IZVEDBA MOTORA "Cox 020"

Postoje dvije osnovne verzije motora radnog volumen 0.33 cm^3 .

Jedna izvedba je nazvana "Pee Wee 020" a druga "Tee Dee 020".

Osnovna konstrukcijska razlika ova dva tipa motora je u spremniku goriva i smještaju usisnika zraka.

Spremnik modela "Tee Dee 020" je jednodijelni i dobiven je injekcijskim prešanjem polimera.

Spremnik modela "Pee Wee 020" je dvodijelni te je bliža stjenka (gledano prema propeleru) načinjena od legure cinka lijevanjem pod tlakom a daljnja stjenka je načinjena od legure aluminija postupkom odvajanja čestica.

Usisnik zraka modela "Pee Wee 020" smješten je sa stražnje strane spremnika goriva i prolazi kroz spremnik u kućište koljenastog vratila, dok je kod modela "Tee Dee 020" usisnik zraka smješten na samom kućištu koljenastog vratila.

Kućišta koljenastih vratila su dobivena ekstrudiranjem i eloksiranjem aluminija u zlatnoj boji za model "Tee Dee 020" odnosno srebrnoj za "Pee Wee 020"

Performanse su različite za ova dva tipa motora, "Tee Dee 020" postiže veću izlaznu snagu sa nešto većom brzinom vrtnje.

Oba modela motora "Cox 020" su dvotaktni motori s unutarnjim izgaranjem i grijaćom svjećicom izvedenom kao dio glave cilindra te se pri promjeni svjećice mijenja cijela glava .

Grijača svjećica se koristi kako bi se mješavina goriva i zraka dovoljno zagrijala za početak rada motora. Samozapaljenje gorive smjese je posljedica povećanog tlaka uslijed kompresije koju izaziva klip i kemijske reakcije platinastog djela grijača sa metanolom u gorivoj smjesi. Napon doveden na grijač potreban je samo u fazi paljenja motora kako bi se omogućila kemijska reakcija te nakon pokretanja ciklusa za njegov nastavak više nije potreban. Dovod goriva i priprema smjese ostvaruje se jednostavnim igličastim ventilom i venturijevom brtvom.

Dovod goriva u kućište vratila osigurava se jednosmjernim ventilom. Jednosmjerni ventil se otvara u uvjetima podtlaka koji se događaju pri pomicanju klipa u gornju mrtvu točku pri čemu gorivo ulazi u kućište koljenastog vratila. Pri pomicanju klipa iz gornje u donju mrtvu točku jednosmjerni ventil se zatvara i daljnji ulaz goriva je onemogućen. Goriva smjesa obilazi klip preko ulaznih udubljenja u glavi cilindra te ulazi u radni prostor.

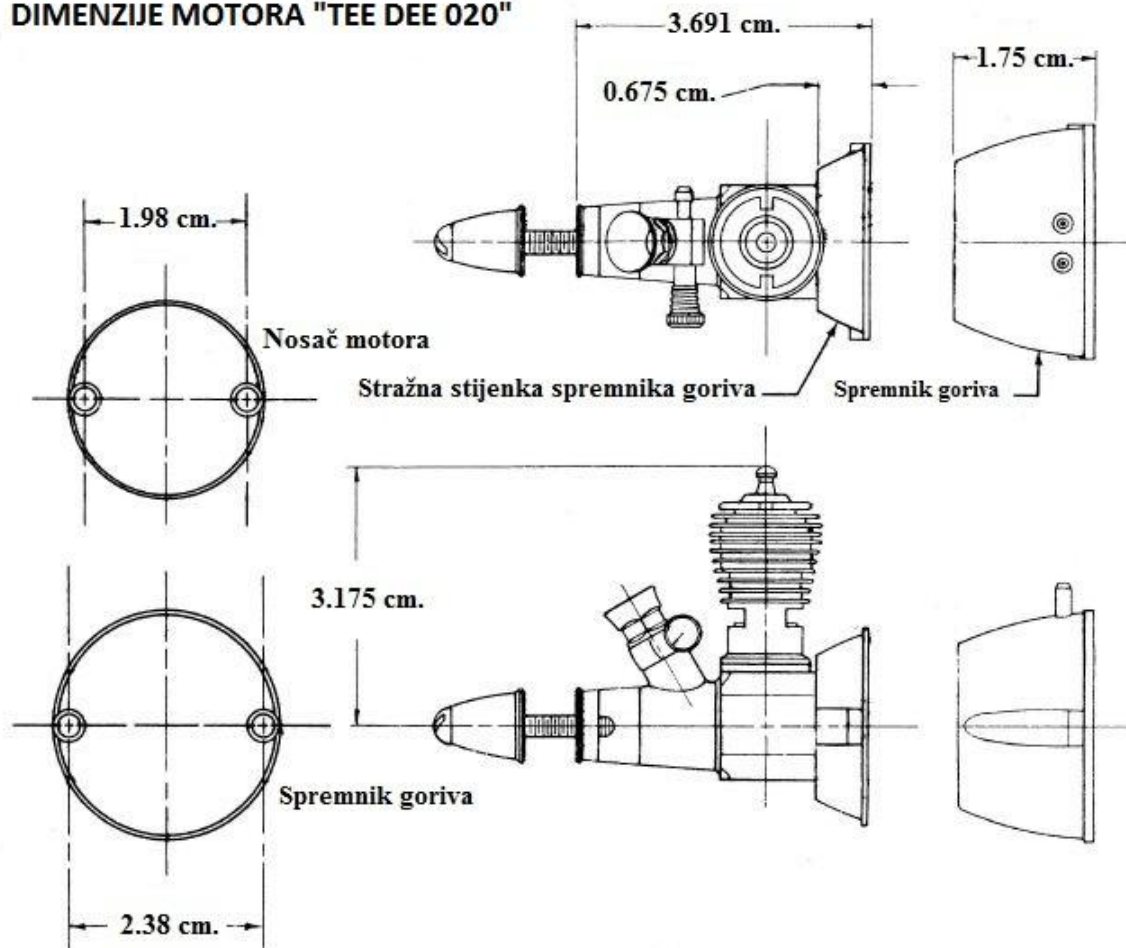
Karakteristika konstrukcije sa jednosmjernim ventilom je da omogućava rad motora u oba smjera vrtnje koljenastog vratila.

Daljnji opis konstrukcijske, izuzev slike 15. na kojoj su sve prikazane dimenzije iste za „Pee Wee 020,“ odnosit će se na zastupljeniji motor "Pee Wee 020" proizveden nakon 1975. g.

Tablica 1. Specifikacije motora "Pee Wee 020"

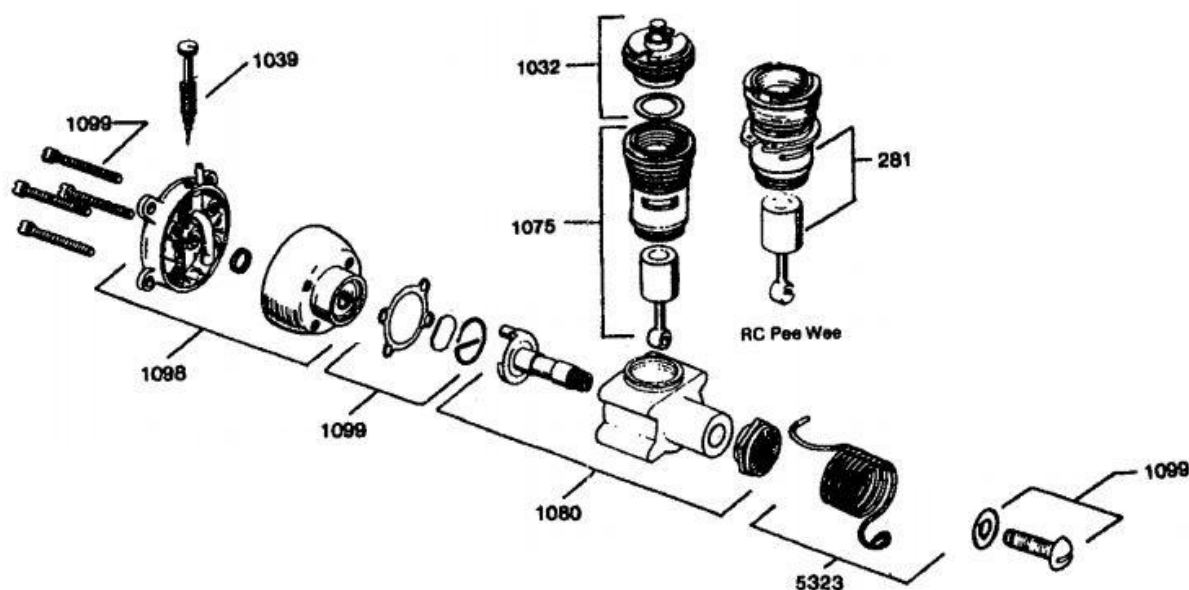
SPECIFIKACIJE	
Tip	Jednocilindrični, zrakom hlađeni, dvotaktni motor pokretan uz pomoć grijače svjećice s integralnim spremnikom goriva. Ubrizgavanje goriva ostvaruje se jednosmjernim ventilom. Pokretanje se izvodi uz pomoć opruge ili elektropokretača.
Unutarnji promjer cilindra	8 mm.
Hod klipa	7 mm.
Radni volumen	326,6 mm ³ .
Mase	S pokretačkom oprugom 24,5 grama Bez pokretačke opruge 23 grama

DIMENZIJE MOTORA "TEE DEE 020"



Slika 15. Dimenzije motora "Tee Dee 020". [11]

Dijelovi konstrukcije motora "Pee Wee 020" prikazani su slikom 16., brojevi kojima su označeni dijelovi odgovaraju kataloškom rasporedu proizvođača.



Slika 16. Prikaz dijelova konstrukcije motora "Pee Wee 020". [12]

Tablica 2. Opis dijelova konstrukcije motora "Pee Wee 020"

<i>Broj</i>	<i>Kratki opis</i>
281	<i>Cilindar, klip i klipnjača radio upravljalog modela motora "Pee Wee 020 R/C" (upravlja se količinom ispušnih plinova na izlazu iz cilindra)</i>
1032	<i>Grijača glava i brtva</i>
1039	<i>Igličasti ventil sa oprugom</i>
1075	<i>Cilindar, klip i klipnjača modela motora "Pee Wee 020"</i>
1080	<i>Kućište koljenastog vratila, koljenasto vratilo, klizni ležaj koljenastog vratila i pričvrsna ploča propelera</i>
1098	<i>Prednja i stražnja stjenka spremnika goriva, igličasti ventil sa oprugom, venturijeva brtva, jednosmjerni ventil za regulaciju protoka.</i>
1099	<i>Elementi koji se izmjenjuju pri obnovi motora: jednosmjerni ventil za regulaciju protoka, osigurač od odvijanja, brtva kućišta koljenastog vratila, vijci kućišta, vijak propelera, podložak vijka propelera, kupola glavčine propelera i venturijeva brtva</i>
5323	<i>Opruga koja osigurava jednosmjernu vrtnju propelera pri pokretanju motora</i>

3.1. Grijača glava

Grijača glava od aluminijske legure izvedena sa grijaćom svjećicom kao sastavnim djelom konstrukcije.

Grijača svjećica načinjena je od legure platine.

Pričvršćuje se na cilindar navojem i brtvi mekom bakrenom brtvom debljine 0,051 mm. Grijača glava za sve modele "Cox 020" motora je ista



Slika 17. Grijača glava svih modela motora "Pee Wee 020". [7]

3.2. Cilindar

Cilindar je proizveden od čelika u jednom komadu postupcima odvajanja čestica.

Pričvršćuje se na kućište koljenastog vratila navojem i zatvara zavijanjem grijaće glave.

Unutar cilindra nalaze se dva nasuprotna valjkasta udubljenja koja služe za dovod goriva u radni prostor.

Po obodu cilindra ispod rashladnih površina a iznad navoja za pričvršćivanje na kućište koljenastog vratila nalaze se dva nasuprotna pravokutna ispušna otvora.

Postoje izvjesne konstrukcijske razlike cilindra za taj tip motora proizvedenih prije i poslije 1975g. Te su razlike: deblje stjenke, veći promjer donjih rashladnih površina i malo manji ispušni otvori.

3.2.1. Postupak izrade cilindra za motor "Pee Wee 020"



Slika 18. Izrada cilindra, prvi korak. [2]

Započinje se čelikom za strojnu obradu u valjkastom obliku.

Bušilicom se buši provrt kroz kojeg prolazi klip i nareznicom narezuje navoj za grijaču glavu.

(Ove operacije su se tvornički provodile automatskom bušilicom i narezivačem proizvodeći 300 cilindara u satu.)



Slika 19. Izrada cilindra, drugi korak. [2]

Nareznicom se narezuje navoj za pričvršćivanje na kućište koljenastog vratila.

Oblikuju se rashladne površine i urezuju ispušni kanali.



Slika 20. Izrada cilindra, treći korak. [2]

Buše se nasuprotna udubljenja valjkastog oblika za dovod goriva u radni prostor.

Provodi se honovanje unutrašnjosti cilindra.

(Honovanje je nužno provoditi u tolerancijskom rasponu od 0,05 mm.)



Slika 21. Izrada cilindra, četvrti korak. [2]

Gotov proizvod!



Slika 22. Cilindar s klipom i klipnjačom. [13]

3.3. Klip i klipnjača

Klip je ravnog čela te je napravljen od nisko ugljičnog čelika kojemu je nakon izrade plašt površinski otvrdnut.

Klip i klipnjača su povezani nerastavljivim kugličnim zglobovom.

Klipnjača je također čelična te je u cijelosti površinski otvrdnuta.



Slika 23. Klip i klipnjača. [13]

3.4. Kućište koljenastog vratila i koljenasto vratilo

Kućiste koljenastog vratila i klizni ležaj koljenastog vratila napravljeni su strojnom obradom iz ekstrudiranog aluminijskog profila. Cjelokupan sklop za dovod goriva i spremnik goriva pričvršćuje se sa četiri vijka na kućište.

Koljenasto vratilo napravljeno je od površinski otvrdnutog i poliranog čelika.

Na koljenastom vratilu također se nalazi i udubljenje koje u odgovarajućem trenutku omogućava prolaz goriva kroz kućište do klipa.



Slika 24. Kućište koljenastog vratila. [15]



Slika 25. Koljenasto vratilo i pričvrtna ploča propelera. [16]

3.5. Spremnik goriva i priprema gorive smjese

Sklop za pohranu goriva i pripremu gorive smjese sastoji se od stražnjeg djela kućišta koljenastog vratila u koje se vijcima pričvršćuje i brtvom brtvi prednja stjenka spremnika goriva sa kućištem. U prednjoj stjenici spremnika goriva nalazi se jednosmjerni ventil križnog oblika koji sprječava povrat goriva. Stražnja stjenka goriva na svojoj sredini ima otvor za dovod zraka na kojem se nalazi mrežasti prečistač. Dovod zraka se regulira igličastim ventilom koji prolazi kroz gornji dio stjenke. Smjesa goriva i zraka provodi se kroz cilindrični kanal koji je tehnologijom odvajanja čestica napravljen po sredini spremnika goriva (prednjoj i stražnjoj stjenici).

Cijeli sklop pričvršćuje se na kućište koljenastog vratila sa četiri vijka.

Prednja i stražnja stjenka spremnika goriva izrađeni su od lijevane aluminijske legure strojnom obradom a postoje i zamjenske stražnje stjenke napravljene od polimera.

Igličasti ventil napravljen je od polimera, a opruga od opružnog čelika.

Venturijeva brtva je gumena, kružnog oblika.

Jednosmjerni ventil je križnog oblika od "Mylar"folije ili metala (bakar).



Slika 26. Sklop za pohranu goriva i pripremu gorive smjese. [14]



Slika 27. Stražnja stjenka spremnika goriva. [14]



Slika 28. Prednja stjenka spremnika goriva. [14]



Slika 29. Igličasti ventil sa oprugom. [14]

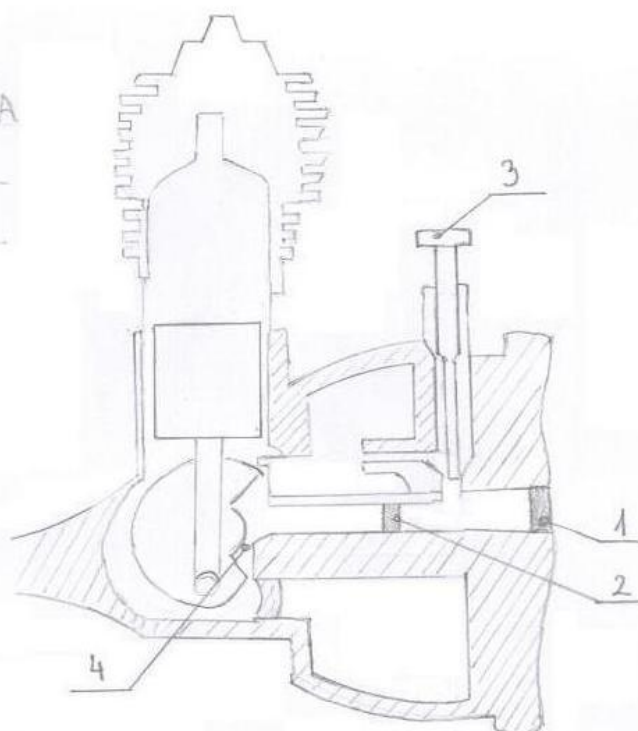


Slika 30. Brtva kućišta koljenastog vratila - desno, jednosmjerni ventil- sredina i venturijska brtva - lijevo. [14]



Slika 31. Vijci kućišta. [14]

1 PREČISTAČ ZRAKA
2- VENTURIJEVA BRITVA
3 IGLIČASTI VENTIL
4 KRILASTI VENTIL



Slika 32. Skica presjeka motora „Pee Wee 020“ s elementima za pripremu gorive smjese.

4. GORIVO I PRIPREMA GORIVE SMJESE ZA MOTOR "Cox 020"

Dvotaktni motori za pogon modela zrakoplova pogone se mješavinom goriva (metanol, CH_3OH), oksidanta (nitrometan, CH_3NO_2) i mazivog ulja (ricinusovo ulje).

Cox motori uobičajeno rade sa "visokim" sadržajem nitrometana ($15 \div 35 \%$)

Motori serije "Tee Dee" troše gorivo sa sadržajem nitrometana bližim gornjoj navedenoj granici dok svi ostali motori "najbolje rade" sa sadržajem nitrometana $20 \div 25 \%$.

Prosječan sadržaj ulja koji se dodaje u gorive mješavine je $10 \div 25 \%$. Glavninu mješavine čini metanol.

Svi navedeni postotni iznosi odnose se na volumni sadržaj.

Razlog visokog sadržaja ulja u smjesi je u vrsti ležaja koji se koriste za koljenasto vratilo i spoj klipa i klipnjače.

Radi se o kliznim ležajevima te oni kao takvi zahtijevaju podmazivanje sa većom količinom maziva nego kuglični ili valjkasti ležajevi koji se koriste u dvotaktnim motorima većih dimenzija.

Osim razlike u ležajevima još je jedan bitan čimbenik da metanol i nitrometan praktički nemaju nikakva maziva svojstva u odnosu na benzin ili dizelsko gorivo.

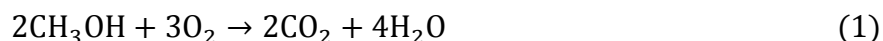
Cox motori sa preradom na Dieslov ciklus koriste preporučenu mješavinu od 40% kerozina (parafin, C_8H_{18}), 35% dietil-etera ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$) i 25% ricinusovog ulja.

4.1. Metanol

Glavni sastojak gorive smjese, metanol ili metilni alkohol (CH_3OH) je otrovna, bezbojna, zapaljiva i hlapljiva tekućina. Vrelište ima na $64,5^\circ\text{C}$ i talište na -98°C te gustoću $791,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ u uvjetima standardne atmosfere. Zbog svoje higroskopnosti mora se skladištiti zaštićen od vlage (zatvoren spremnik u suhoj prostoriji).

Bitno je napomenuti da metanol kojeg koristimo za gorivu mješavinu mora u omjeru sa vodom biti sadržan u iznosu od najmanje 99% .

Metanol gori u prisustvu kisika (O_2) i ugljičnog dioksida (CO_2) plavičastim, gotovo nevidljivim plamenom. Proces izgaranja metanola može se opisati kemijskom jednačicom:



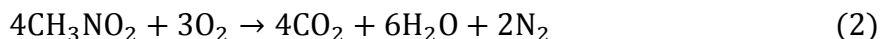
Osim u gorivim mješavinama za pogon modela zrakoplova, za vrijeme drugog svjetskog rata metanol se koristio i kao gorivo za pogon nekih prototipova njemačkih raketa.

4.2. Nitrometan

Nitrometan je organski spoj sa kemijskom formulom CH_3NO_2 . Nitrometan je otrovna, bezbojna, hlapljiva i visoko zapaljiva tekućina. U uvjetima standardne atmosfere ima ledište na temperaturi -29°C i vrelište na 103°C te gustoću $1137,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Potrebno ga je čuvati na suhom i tamnom mjestu.

U gorivoj mješavini za pogon modela zrakoplova funkcija mu je poboljšanje procesa oksidacije zbog dvostruko manje potrebe za kisikom u odnosu na metanol. Kao što je pokazano jednadžbom (2), dvostruko više nitrometana će reagirati sa istom količinom kisika u odnosu na metanol. Gledano iz perspektive rada motora, potreban je četiri puta manji protok zraka za izgaranje nitrometana nego metanola.

[6]



Nitrometan se često još koristi i kao otapalo u postupcima ekstrahiranja, kao medij u raznim kemijskim reakcijama i kao razrjeđivač za čišćenje nanosa boje. Također se koristi u proizvodnji lijekova, pesticida, eksploziva, vlakana i premaza.

4.3. Maziva ulja

Glavni zadatak mazivog ulja u gorivoj mješavini je podmazivanje pomičnih dijelova s kojima gorivo dolazi u dodir te samim time smanjenje trošenja.

Osim podmazivanja, ulje za mješavinu štiti metalne (čelične) dijelove motora od korozije. Korozija je poseban čimbenik kod motora koji koriste metanol kao osnovu za mješavinu zbog svoje higroskopnosti. Voda koju metanol apsorbira iz okoline uzrokuje koroziju metalnih površina.

Nitrometan također pospješuje koroziju jer kod nepotpunog izgaranja može stvoriti kisele produkte izgaranja.

Većina sintetičkih ulja nisu dovoljna korozivna zaštita pa se stoga miješaju s raznim inhibitorima.

Od korozije najugroženiji dijelovi motora "Pee Wee 020" su koljenasto vratilo i klizni ležaj koljenastog vratila.

U osnovi postoje dvije vrste mazivih ulja koja se koriste u aero-modelarstvu, to su ricinusovo i sintetičko ulje.

Proizvođač motora "Pee Wee 020" u gorivim mješavinama svih svojih motora prednost daje ricinusovom ulju. Razlog tomu je što je iskustvo velikog broja korisnika pokazalo da kod korištenja ricinusova ulja otpornost na prekid uljnog filma u kliznim ležajevima više dolazi do izražaja od povoljnih svojstava sintetičkih ulja. Tokom rada motora sa sintetičkim uljem češće je dolazilo do zaribavanja (bez trajnih oštećenja) zglobnog ležaja klipa i klipnjače. Tvrtka "Cox" čak je napravila poseban alat koji je služio da se "zapečen" zglob ponovo stavi u funkciju ("resetira"). Nakon toga postupka, do zaribavanja bez obzira na korišteno ulje više nije dolazilo. [5]



Slika 33. Alat za "resetiranje" zgloba klipa. [17]

U nastavku teksta biti će opisana svojstva oba tipa ulja.

4.3.1. Ricinusovo ulje

Ricinusovo ulje je prirodnog podrijetla i dobiva se od izrazito otrovne biljke ricin, dok je samo ulje ljekovitih svojstava.



Slika 34. Biljka ricin od koje se proizvodi ricinusovo ulje. [18]

Ricinusovo ulje ima izvrsnu mazivost i otpornost na prekid uljnog filma.

Još jedno dobro svojstvo ricinusovog ulja je polimerizacija na vrlo visokim temperaturama (oko 300°C). Normalna radna temperatura cilindra motora "Pee Wee 020" je oko 130°C, za motor "Tee Dee 020" je nešto viša, oko 150°C. [1]

Ako ulje tokom rada motora razvije previsoku temperaturu, ono polimerizira tvoreći krutinu sa dovoljnim mazivim svojstvima da spasi motor od zaribavanja.

Osim navedenih dobrih svojstava, ricinusovo ulje ima i neke nedostatke.

Jedan od nedostataka je visoka viskoznost a time i povećano trenje između dijelova koje podmazuje. Povećano trenje je najočitije pri niskim radnim temperaturama motora. Veća viskoznost u odnosu na ostala ulja za gorive mješavine znači i manju brzinu vrtnje motora.

Drugi veći nedostatak ricinusovog ulja je taloženje ugljika u obliku čađe. Posljedice toga taloženja su promjena boje unutrašnje stijenke cilindra u smeđu ili crnu. U slučaju neredovitog čišćenja i zamjene potrošnih dijelova motora performanse mu se smanjuju, motor bez drugog vidljivog razloga radi sa manjom brzinom vrtnje.

4.3.2. Sintetička ulja

Sintetička ulja su se za gorive mješavine počela proizvoditi početkom 1980-tih godina.

Sintetička ulja imaju manju viskoznost od ricinusovog te je moguć rad sa većom brzinom vrtnje. Viskoznost u odnosu na ricinusovo ulje ostaje konstanta na većem rasponu temperatura a temperatura motora za vrijeme rada ostaje niža zbog manjeg trenja.

Taloženje čađe je manje zbog manjeg sadržaja čađe i pepela u produktima izgaranja.

Postoje dvije osnovne vrste sintetičkih ulja za gorive mješavine modela zrakoplova.

Zbog slabih protu-korozivnih svojstava miješaju se sa raznim aditivima.

Najčešće korištena su ulja na bazi Polyaklylen Glycol-a ("PAG"), kemijski spoj po sastavu sličan tekućini protiv smrzavanja.

Prednost ulja na "PAG" bazi je niska cijena i dostupnost zbog široke upotrebe (klima uređaji, dizalice topline).

Nedostatak "PAG" ulja je što nisu proizvedena posebno za motore modela zrakoplova pa rad na visokim temperaturama (zbog izgaranja) može izazvati manjak ulja u motoru. Iz tog razloga proizvođači motora preporučuju smjesu bogatiju uljem ($17 \div 25 \%$).

Skuplja sintetička ulja proizvode se na bazi estera.

Ulja na bazi estera pružaju stabilniju viskoznost na višim temperaturama i manju zapaljivost gorive mješavine u odnosu na "PAG" ulja.

Miješaju se sa metanolom i nitrometanom u rasponu od $10 \div 20 \%$.

4.3.3. Mješavina sintetičkog i ricinusovog ulja

Mješavine sintetičkih i ricinusovog ulja očituju se dobrim svojstvima jedne i druge vrste ulja.

Izgaranje je potpunije i viskoznost je mala kao kod sintetičkog ulja, a dobra svojstva na visokim temperaturama i dobra protu-korozivna svojstva zahvaljuju ricinusovom ulju.

4.4. Postupak pripreme gorive smjese

Gorive smjese za pogon motora modela zrakoplova uobičajeno se miješaju sa sadržajem ulja $10 \div 25 \%$, sadržajem nitrometana $15 \div 35 \%$, a preostali udio goriva je metanol $40 \div 75 \%$ [6].

Postupak pripreme najviše ovisi o tome koja je namjena motora.

Motor kojeg se želi koristiti bez pojačanog trošenja sa slabijim performansama koristit će smjesu sa ricinusovim uljem dok će motori namijenjeni za natjecanja koristiti mješavinu sa

sintetičkim uljem. Mješavine ulja sintetičkog i ricinusovog podrijetla pružaju dobre performanse i dugovječan rad motora.

Sastojak koji se može najviše mijenjat u gorivoj smjesi je svakako ulje.

Budući da postoji širi izbor vrsta ulja od kojih su tri osnovna sintetičko, ricinusovo i mješavina sintetičkog i ricinusovog ulja a proizvođač motora "Cox 020" preporuča ricinusovo ulje u nastavku teksta će se opisati postupak izrade mješavine sa ricinusovim uljem i mješavine ricinusovog i sintetičkog ulja za motor "Pee Wee 020".

4.4.1. Goriva mješavina s ricinusovim uljem

Ako je namjera osigurati dugovječan rad i dobru zaštitu od korozije onda je ricinusovo ulje zbog svoje visoke otpornosti na prekid uljnog filma, polimerizacije pri visokim temperaturama i dobrih protu-korozivnih svojstava najbolji izbor.

Također valja još jednom napomenuti da proizvođač motora "Pee Wee 020" preporuča korištenje ricinusovog ulja zbog nedovoljnog podmazivanja zglobnog ležaja klipa i klipnjače pri korištenju sintetičkih ulja.

Uobičajeno je da se kod pripreme gorive mješavine prvo u spremnik za pripremu stavlja osnovno gorivo (metanol) a nakon toga se dodaje oksidant (nitrometan) te mazivo (ricinusovo ulje) u unaprijed odlučenim omjerima i dobro promiješa.

Nitrometan se u mješavinu stavlja u sadržaju $15 \div 30$ %, za motor "Pee Wee 020" proizvođač preporuča sadržaj nitrometana 25 %.

Sadržaj ulja u mješavini iznosi $17 \div 25$ %, pri čemu je proizvođač za motor "Pee Wee 020" preporučio sadržaj ricinusovog ulja 25 %.

Ostatak gorive mješavine je metanol.

4.4.2. Goriva mješavina sa sintetičkim i ricinusovim uljem

Ako je namjera ostvariti veće performanse (motor za natjecanja) onda je najbolje rješenje za Cox motore koristiti mješavinu sintetičkog ulja na bazi estera i ricinusovog ulja. Mala viskoznost i zadržavanje viskoznosti na višim temperaturama sintetičkih ulja osigurati će motoru "Pee Wee 020" $100 \div 300$ okretaja više u minuti, dok će svojstvo polimerizacije, dobro protu-korozivno svojstvo i visoka prekidna čvrstoća ricinusovog uljnog filma osigurati dugovječniji rad od mješavine sa čistim sintetičkim uljem.

Još jedna prednost mješavine sintetičkog i ricinusovog ulja u gorivoj mješavini je smanjeno taloženje ugljika na raznim dijelovima motora što je posljedica dodavanja sintetičkog ulja.

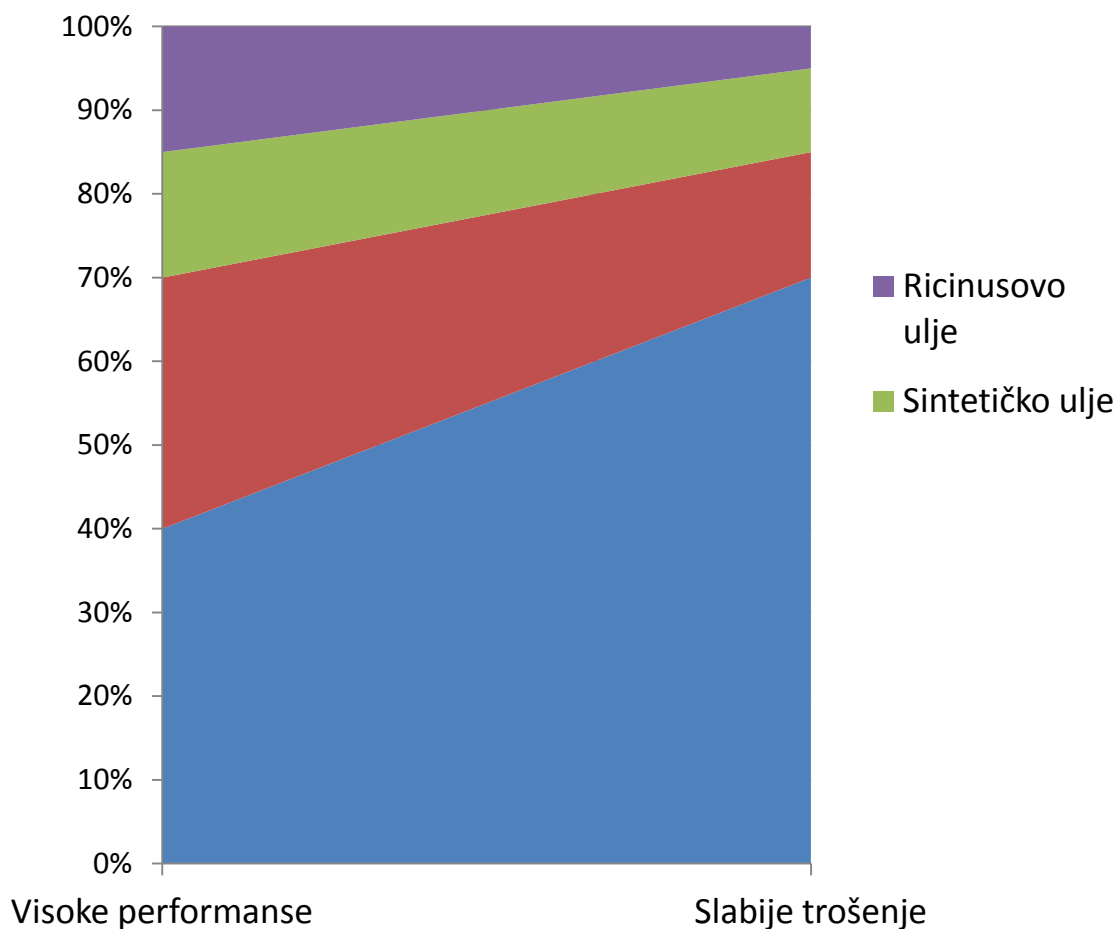
Kod pripreme bilo koje gorive mješavine pa tako i za motor "Pee Wee 020" redosljed miješanja je gorivo, oksidant, mazivo.

Sadržaj metanola unaprijed je određen sadržajem nitrometana i ulja.

Nitrometan se u mješavinu stavlja omjerom $15 \div 30$ %, preporučeni sadržaj je 25 %. Ukupni sadržaj ulja bi trebao biti između $17 \div 25$ % mješavine, preporučeno je 20 %.

Za dobre performanse i relativno malu mogućnost kvara motora priprema se mješavina sa smjesom 10 % ricinusovog i 10 % sintetičkog ulja.

Za visoke performanse u mješavinu se stavlja 15 % sintetičkog i 5 % ricinusovog ulja. Nedostatak ovakve smjese je relativno velika mogućnost zaribavanja motora.



Slika 35. Sastav goriva.

Na slici 35. vidljivi su različiti volumni udjeli sastojaka gorive mješavine u slučaju kada ova sadrži kombinaciju sintetičkog i ricinusovog ulja. Područje koje je označeno sa "Visoke performanse" odnosi se na sastav u kojemu je veći udio nitrometana (35 %) a "Slabije trošenje" odnosi se na sastav sa manjim udjelom nitrometana (15 %). Veći udio nitrometana sa sobom vuče i veću potrebu za mazivom sa naglaskom na ricinusovo ulje.

5. UTJECAJ SASTAVA GORIVA NA PERFORMANSE MOTORA

"Cox 020" motori kao i svi motori sa grijaćom svjećicom nemaju sustav kontrole paljenja smjese. Iz toga razloga sastav goriva predstavlja ključan čimbenik za performanse motora.

Većina motora sa grijaćom svjećicom većih radnih volumena za nastavak radnog ciklusa (zapaljenje smjese) ne zahtijevaju nitrometan u gorivu. Kod motora iznimno malih radnih volumena, kao što su "Cox 020" ($0,3 \text{ cm}^3$) motori, nitrometan je nužan zbog proporcionalno puno većeg gubitka topline nego u većih motora. Funkcija nitrometana u gorivu je povećanje sadržaja kisika, a time i temperature izgaranja koja uz pomoć grijaće svjećice osigurava zapaljenje goriva.

Na performanse motora osim sastava smjese koji je opisan u poglavlju 4, utječe i kvaliteta sastojaka od kojih je smjesa napravljena.

5.1. Utjecaj metanola na performanse

Općenito za gorive mješavine bitno je da korišteni metanol, kojeg se zbog svoje higroskopnosti uvijek nabavlja pomiješanog s vodom, ima što manji sadržaj vode. Voda pomiješana sa metanolom smanjuje mu gorivu vrijednost i uzrokuje koroziju motora, smanjena goriva vrijednost dovodi do manje brzine vrtnje motora. Poželjno je da korištena smjesa metanola i vode sadrži najmanje 99 % metanola.

5.2. Utjecaj omjera metanola i ricinusovog ulja na performanse

Omjer metanola i ricinusovog ulja u gorivu koje sadrži još i nitrometan ne igra ključnu ulogu. Gorivo koje sadrži 5 % više ili manje ricinusovog ulja na račun metanola neće uzrokovati znatne razlike u brzini vrtnje motora. U slučaju da gorivo sadrži manje od 10 % ricinusovog ulja, što se smatra mješavinom sa premalim sadržajem maziva čak i za natjecateljske uvjete, može doći do značajnog smanjenja brzine vrtnje, pojačanog trošenja ili čak zaribavanja motora.

5.3. Utjecaj nitrometana na performanse

Nitrometan ima ulogu oksidanta u gorivoj smjesi, što znači da mu je zadatak povećanje sadržaja kisika u procesu izgaranja.

U procesu izgaranja dvostruko će više nitrometana reagirati sa istom količinom kisika u odnosu na metanol kako je pokazano jednadžbama izgaranja metanola (1) i nitrometana (2).

Nitrometan će do određenog sadržaja povećavati brzinu vrtnje. Postepeno, približavajući se gornjoj preporučenoj vrijednosti ovaj će se utjecaj smanjivati i daljnje dodavanje nitrometana neće imati značajan utjecaj na performanse motora.

5.4. Ispitivanje utjecaja goriva na performanse motora

Ispitivanje sastava goriva na performanse "Cox" motora najbolje je započeti odabirom ulja za mješavinu, zavisno o tome želimo li veću brzinu vrtnje ili trajnost motora koristiti ćemo mješavinu ricinusovog i sintetičkog ulja ili čisto ricinusovo ulje.

U slučaju odabira mješavine ricinusovog i sintetičkog ulja, utjecaj takve mješavine na performanse najbolje je ispitati zasebno.

Kada se koristi čisto ricinusovo ulje, promjena performansi motora ispituje se promjenom sadržaja nitrometana.

5.4.1. Ispitivanje utjecaja goriva na performanse promjenom volumnog udjela ricinusovog i sintetičkog ulja u mješavini

Mješavina sintetičkog i ricinusovog ulja osigurat će veću brzinu vrtnje na osnovi smanjenja viskoznosti ricinusovog ulja zbog dodavanja sintetičkog. Smanjena viskoznost uzrokuje smanjenje trenja u kliznim ležajevima koljenastog vratila i spoja klipa i klipnjače kao glavnim tarnim površinama motora. U slučaju "zaribavanja" motora pri korištenju dozvoljenog udjela sintetičkog ulja, u većini slučajeva moguće je motor popraviti posebnim alatom kojim se "zapečeni" klip oslobađa. Trajne posljedice pri takvom kvaru u većini slučajeva nisu zabilježene te do ponovnog zaribavanja korištenjem istog udjela sintetičkog ulja više ne dolazi. Preporučljivo je pri ispitivanju performansi motora promjenom sastava ulja započeti sa čistim ricinusovim uljem i postepeno, dodavanjem sintetičkog, omjer ricinusovog i sintetičkog povećavati na stranu sintetičkog ulja. Najmanji od proizvođača dozvoljeni udio ricinusovog u sintetičkom ulju je $\frac{1}{3}$.

5.4.2. Ispitivanje utjecaja goriva na performanse promjenom volumnog udjela nitrometana u mješavini

Promjena udjela nitrometana u mješavini pretpostavlja da je unaprijed odlučen udio mazivog ulja, bio on mješavina ricinusovog i sintetičkog ili čisto ricinusovo ulje.

Pri ispitivanju utjecaja promjene udjela nitrometana na performanse uputno je započeti sa najmanjim udjelom nitrometana kojeg proizvođač preporučuje. U slučaju premalog udjela nitrometana kod motora malih radnih volumena, kao što su "Cox 020" motori, može doći do prekida radnog ciklusa zbog preniske temperature u cilindru ili motor uopće nije moguće "upaliti". Nitrometan se u gorivu mješavinu dodaje na račun metanola što znači da povećanjem udjela nitrometana smanjujemo udio metanola za isti iznos, pri čemu udio mazivog ulja ostaje isti. Nitrometan kao oksidant u mješavini pospješuje izgaranje goriva (metanola) i pri tome povećava radnu temperaturu motora kao i brzinu vrtnje. Nitrometan ima manju energetska vrijednost od metanola po jedinici mase ali veću brzinu izgaranja. Veća brzina izgaranja je ujedno i razlog povećanja brzine vrtnje. Povećanje brzine vrtnje odvijat će se sve do određenog sadržaja nitrometana u gorivu koji je kod „Cox 020“ motora oko 30 %. Točan sadržaj nitrometana od kojeg daljnje dodavanje neće rezultirati povećanjem brzine vrtnje zavisiti o sadržaju i vrsti mazivog ulja u gorivoj mješavini.

5.5. Izračun gustoće i ogrjevne vrijednosti gorive mješavine

Gustoću i ogrjevnu vrijednost gorive mješavine moguće je odrediti jednostavnim proračunom, poznavajući gustoće i volumne udjele te donje ogrjevne vrijednosti pojedinih sastojaka.

U ovom primjeru će se jednostavnosti radi koristiti mješavina sa čistim ricinusovim uljem koje u potpunosti izgara, stvarna donja ogrjevna vrijednost biti će manja

Prikazani su rezultati proračuna za tri različita sadržaja nitrometana, nitrometan je dodavan na račun metanola.

Smjesa A (volumni sastav):

- metanol (55 %),
- nitrometan (20 %)
- ricinusovo ulje (25%).

Smjesa B (volumni sastav):

- metanol (50 %),
- nitrometan (25 %),
- ricinusovo ulje (25%).

Smjesa C (volumni sastav):

- metanol (45 %),
- nitrometan (30 %),
- ricinusovo ulje (25%).

Postupak po kojemu su izračunate vrijednosti gustoće smjese i donje ogrjevne vrijednosti:

Maseni udjeli:

$$\chi_m = \frac{\chi_{mv} * M_m}{\chi_{mv} * M_m + \chi_{nmv} * M_{nm} + \chi_{uv} * M_u} \quad (3)$$

$$\chi_{nm} = \frac{\chi_{nmv} * M_{nm}}{\chi_{mv} * M_m + \chi_{nmv} * M_{nm} + \chi_{uv} * M_u} \quad (4)$$

$$\chi_u = \frac{\chi_{uv} * M_u}{\chi_{mv} * M_m + \chi_{nmv} * M_{nm} + \chi_{uv} * M_u} \quad (5)$$

Gdje je:

χ_m - maseni udio metanola $\left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right)$,

χ_{nm} - maseni udio nitrometana $\left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right)$,

χ_u - maseni udio ricinusovog ulja $\left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right)$,

χ_{mv} - volumni udio metanola $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}\right)$,

χ_{nmv} - volumni udio nitrometana $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}\right)$,

χ_{uv} - volumni udio ricinusovog ulja $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}\right)$,

M_m - molarna masa metanola $\left(\frac{\text{kg}}{\text{mol}}\right)$,

M_{nm} - molarna masa nitrometana $\left(\frac{\text{kg}}{\text{mol}}\right)$,

M_u - molarna masa ricinusovog ulja $\left(\frac{\text{kg}}{\text{mol}}\right)$.

Gustoća mješavine:

$$\rho_{mj} = \rho_m \chi_m + \rho_{nm} \chi_{nm} + \rho_u \chi_u \quad (3)$$

Gdje je:

χ_m - maseni udio metanola $\left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right)$,

χ_{nm} - maseni udio nitrometana $\left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right)$,

χ_u - maseni udio ricinusovog ulja $\left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right)$,

ρ_{mj} - gustoća mješavine $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$,

ρ_m - gustoća metanola $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$,

ρ_{nm} - gustoća nitrometana $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$,

ρ_u - gustoća ricinusovog ulja $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$.

$$Q_d = \frac{Q_{d,m} \rho_m \chi_m + Q_{d,nm} \rho_{nm} \chi_{nm} + Q_{d,u} \rho_u \chi_u}{\rho_{mj}} \quad (4)$$

Gdje je:

χ_m - maseni udio metanola $\left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right)$,

χ_{nm} - maseni udio nitrometana $\left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right)$,

χ_u - maseni udio ricinusovog ulja $\left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right)$,

ρ_m - gustoća metanola $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$,

ρ_{nm} - gustoća nitrometana $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$,

ρ_u - gustoća ricinusovog ulja $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$,

ρ_u - gustoća ricinusovog ulja $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$,

Q_d - donja ogrjevna vrijednost gorive smjese $\left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right)$,

$Q_{d,m}$ - donja ogrjevna vrijednost metanola $\left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right)$,

$Q_{d,nm}$ - donja ogrjevna vrijednost nitrometana $\left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right)$,

$Q_{d,u}$ - donja ogrjevna vrijednost ricinusovog ulja $\left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right)$.

Tablica 3. Udjeli, gustoće i donje ogrjevnje vrijednosti [6]

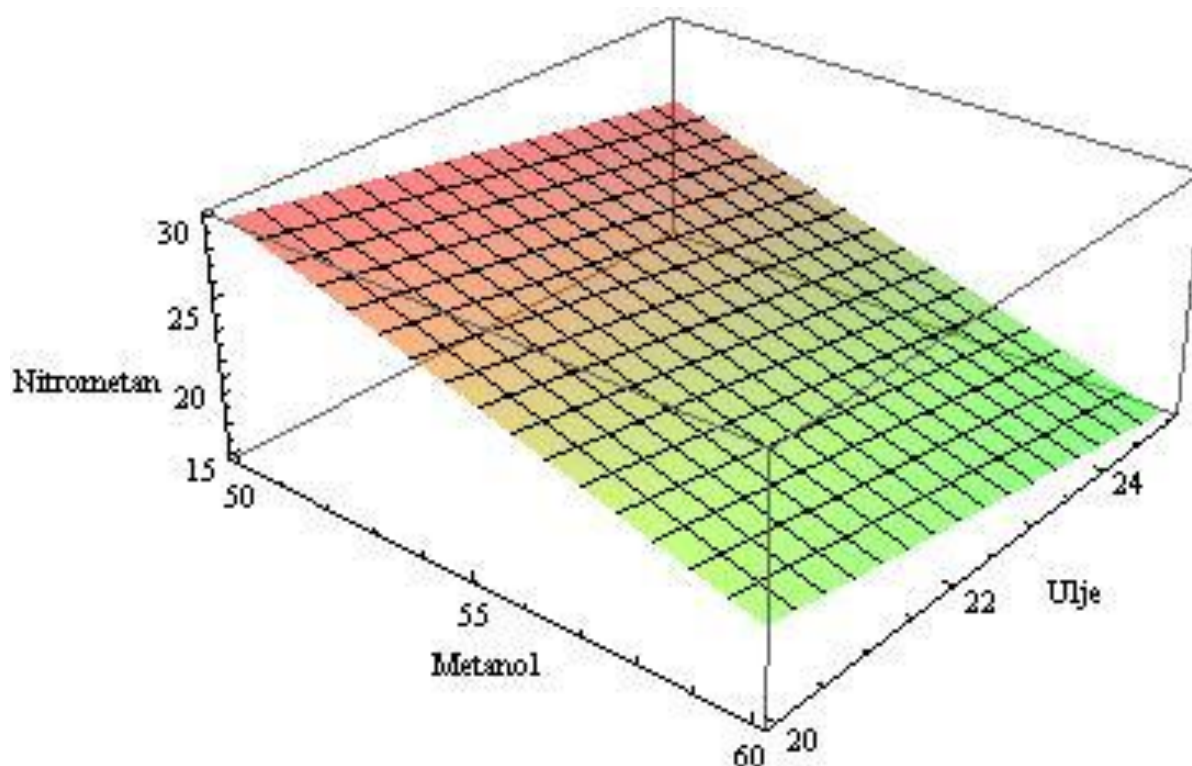
Sastojak	χ	ρ (kg/m ³)	Q_d (MJ/kg)
Smjesa A			
Metanol	0.55	790	22.6
Nitrometan	0.20	1110	11.6
Ricinusovo ulje	0.25	960	44
Mješavina	1	938,1	29,2
Smjesa B			
	0.50	790	22.6
	0.25	1110	11.6
	0.25	960	44
	1	952	28,23
Smjesa C			
	0.45	790	22.6
	0.30	1110	11.6
	0.25	960	44
	1	965,29	27,32

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da donja ogrjevna vrijednost povećanjem sadržaja nitrometana na račun metanola opada, unatoč tome ispitivanja pokazuju da brzina vrtnje motora raste.

Razlog tomu kao što je navedeno u poglavlju 5.4.2 je veća brzina izgaranja nitrometana u odnosu na metanol.

5.6. Zaključak utjecaja goriva na performanse

Na slici 35. prikazan je dijagram miješanja sastojaka goriva za unaprijed određen sastav (ricinusovo ili mješavina ricinusovog i sintetičkog) i promjenjiv udio ulja. Povećanjem sadržaja nitrometana i smanjenjem sadržaja ulja u mješavini dolazi do povećanja brzine vrtnje i radne temperature motora (utjecaj nitrometana), te slabijeg podmazivanja (manjak ulja), što je u dijagramu označeno crvenom bojom. Veća brzina vrtnje i radna temperatura te slabije podmazivanje smanjuju trajnost motora i povećavaju rizik od „zaribavanja“. Zelenom bojom je u dijagramu označena smjesa sa manjim sadržajem nitrometana i većim sadržajem ulja. Mješavina siromašnija nitrometanom i bogatija uljem rezultira manjom brzinom vrtnje, manjom radnom temperaturom (zbog manjka nitrometana) i boljim podmazivanjem (višak ulja).



Slika 36. Utjecaj nitrometana na performanse motora.

(Crvena boja označava veću brzinu vrtnje, temperaturu i slabije podmazivanje a zelena se boja odnosi na manju brzinu vrtnje, temperaturu i bolje podmazivanje).

6. PARAMETRI RADA MOTORA "COX 020" U RAZLIČITIM REŽIMIMA RADA

Postoji mali broj prihvatljivo dokumentiranih postupaka određivanja parametara rada motora za pogon modela zrakoplova.

Većina ispitivanja objavljena je u časopisima koji se bave modelarstvom i nemaju točno opisan postupak mjerenja iznesenih parametara.

Osim nedefiniranih postupaka mjerenja, najčešće nisu navedeni niti atmosferski uvjeti a nekad čak niti sastav goriva i tip propelera koji se koristio.

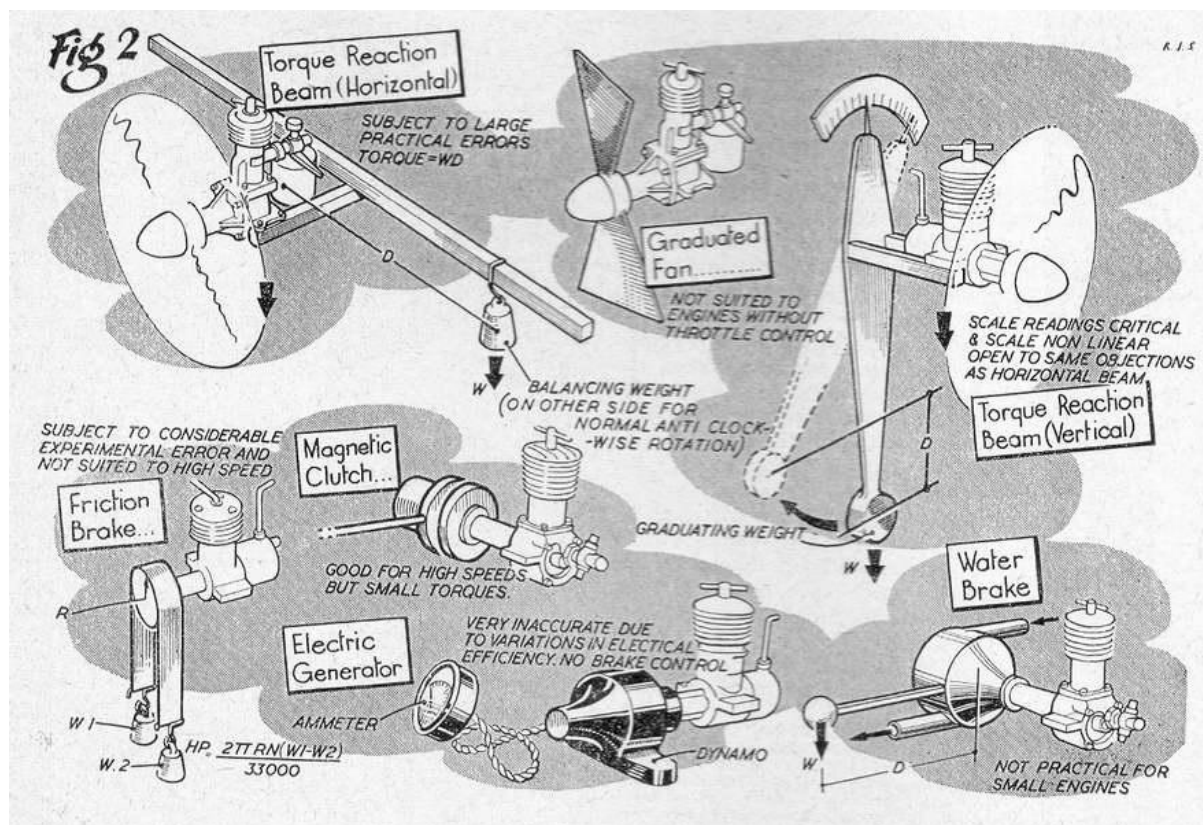
Najveća brzina vrtnje i izlazna snaga su podaci koje najčešće susrećemo po raznim časopisima dok podaci poput potrošnje goriva, raznih iskoristivosti, promjeni parametara zavisno o visini leta ostaju izostavljeni.

Osnovna informacija koju se nastoji dobiti mjerenjem parametara rada bilo kojeg motora je krivulja ovisnosti okretnog momenta i brzine vrtnje odnosno efektivne snage i brzine vrtnje.

Najjednostavniji način da dobijemo takvu krivulju je istovremeno mjerenje brzine vrtnje motora i okretnog momenta koljenastog vratila.

Efektivna snaga motora se tada dobiva kao umnožak okretnog momenta i kutne brzine koljenastog vratila.

U nastavku teksta biti će opisane razne metode kojima se određuje brzinu vrtnje motora i okretni moment.



Slika 37. Metode mjerenja okretnog momenta motora za pogon modela zrakoplova. [19]

Slika 35. prikazuje različite načine mjerenja okretnog momenta motora za pogon modela zrakoplova. Slika prikazuje mjerenje baždarenim propelerima (poglavlje 5.1), generatorskim dinamometrom (poglavlje 5.2), reakcijskim dinamometrima (sa vodoravnom i okomitom gredom, vodoravna greda je prikazana u poglavlju 5.3), i hidrauličkim dinamometrom (poglavlje 5.4). Osim navedenih u nastavku je obrađeno i mjerenje sa inercijskim dinamometrom (poglavlje 5.5).

6.1. Mjerenje baždarenim propelerima

Postupak mjerenja baždarenim propelerima najčešće se primjenjuje u uvjetima masovne proizvodnje kao kontrola kvalitete ili kod usavršavanja postojećih izvedbi motora. Ovaj postupak ima samo usporedbenu vrijednost i ne daje točne informacije o efektivnoj snazi motora, unatoč toga, zbog svoje jednostavnosti i dobrih usporedbenih svojstava je i najkorišteniji način uspoređivanja parametara rada.

Kalibrirani propeleri su naprave čija je uloga ostvariti opterećenje na koljenasto vratilo. Iznos toga opterećenja u ovisnosti o brzini vrtnje je unaprijed utvrđen zbog čega ih nazivamo baždarenim. Postoje tablični podaci koji za određeni tip propelera točno navode efektivnu snagu pri određenoj brzini vrtnje te se kao takvi mogu koristiti za okvirno određivanje snage. Tablice očitavamo tako da za izmjerenu brzinu vrtnje propelera očitamo u tablici pripadajuću snagu. Ako želimo nacrtati krivulju ovisnosti snage i brzine vrtnje za motor kojemu brzinu vrtnje ne možemo podesiti onda koristimo više takvih baždarenih propelera različitih dimenzija s kojim će motor raditi na različitim brzinama vrtnje uz pripadajuću tabličnu vrijednost snage.



Slika 38. Baždareni propeleri. [20]

Iznimno važna stavka koja osigurava točnost takvih mjerenja je geometrija propelera koja se može promijeniti uslijed razlika u temperaturi, centrifugalnih sila, starenja...

Kako bi se osigurala točnost dobivenih podataka takvi propeleri imaju od proizvođača deklarirani rok trajanja, naravno moguće ih je definiranim postupcima ponovno baždariti u slučaju dobre očuvanosti.

Okretni moment i snaga koja se stvara za pogon propelera moguće je izračunati jednadžbama 5 i 6.

$$M = K \cdot n \quad (5)$$

$$P_e = K_2 \cdot n^3 \quad (6)$$

Gdje je:

M – moment motora, Nm

K – konstanta kalibriranih propelera,

n – brzina vrtnje, s^{-1} ,

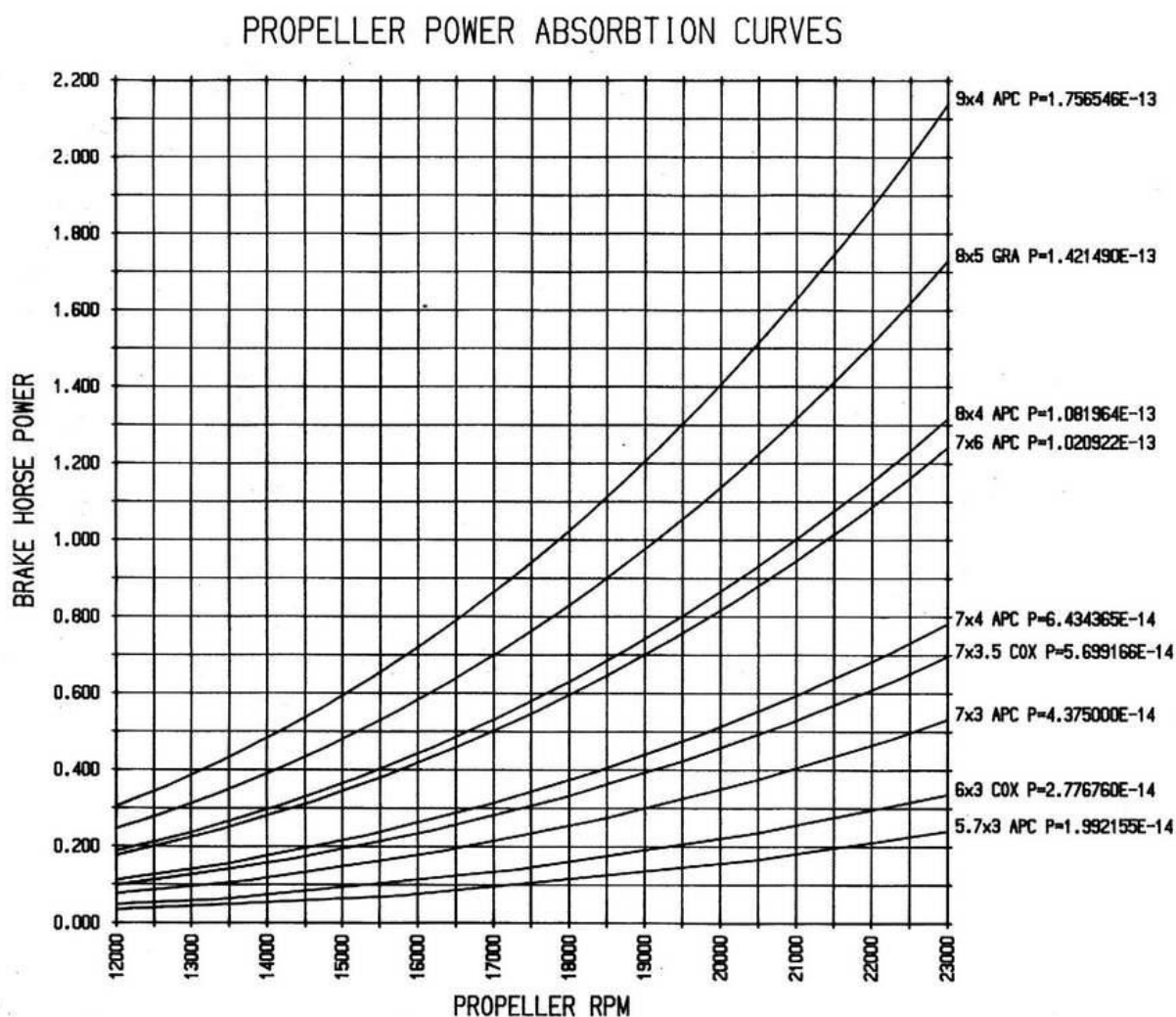
P_e – efektivna snaga (snaga za pogon propelera), W.

U gornjim jednadžbama K i K_2 predstavljaju konstante propelera i unaprijed su određene od proizvođača baždarenog propelera.

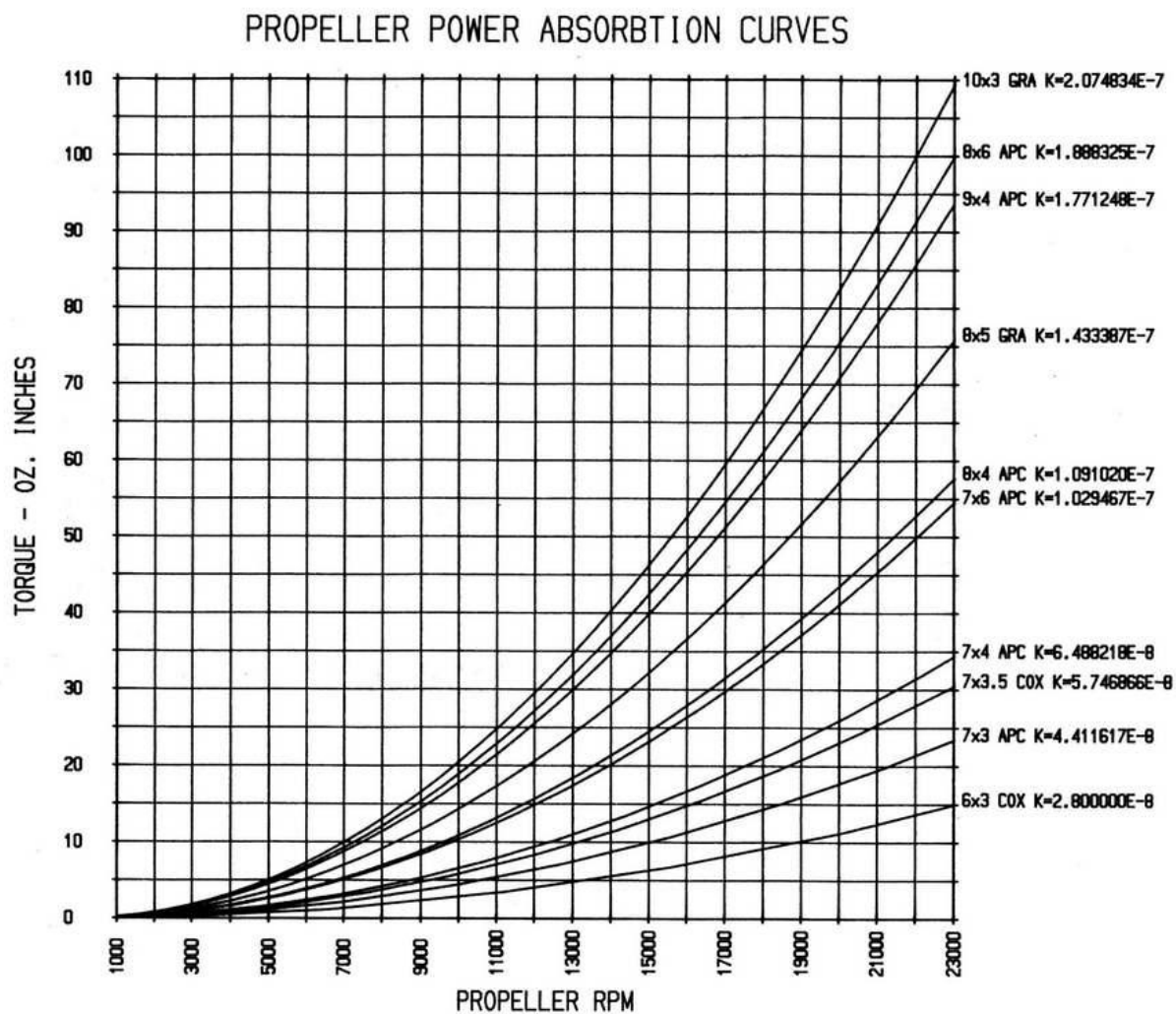
Brzina vrtnje propelera se dobiva različitim načinima mjerenja od kojih je najpopularniji mjerenje optičkim senzorom u obliku lasera i reflektivne površine nalijepljene na propeler.

Pozicija optičkog uređaja i reflektivne trake ovise o uvjetima mjerenja pri čemu je najkorištenija metoda mjerenje kutne brzine vrha propelera budući da mu je geometrija strogo definirana.

Iz dobivenih podataka (okretnog momenta/snage i brzine vrtnje) se crtaju krivulje koje prikazuju odnos snage koju motor daje propeleru ili okretnog momenta i brzina vrtnje.



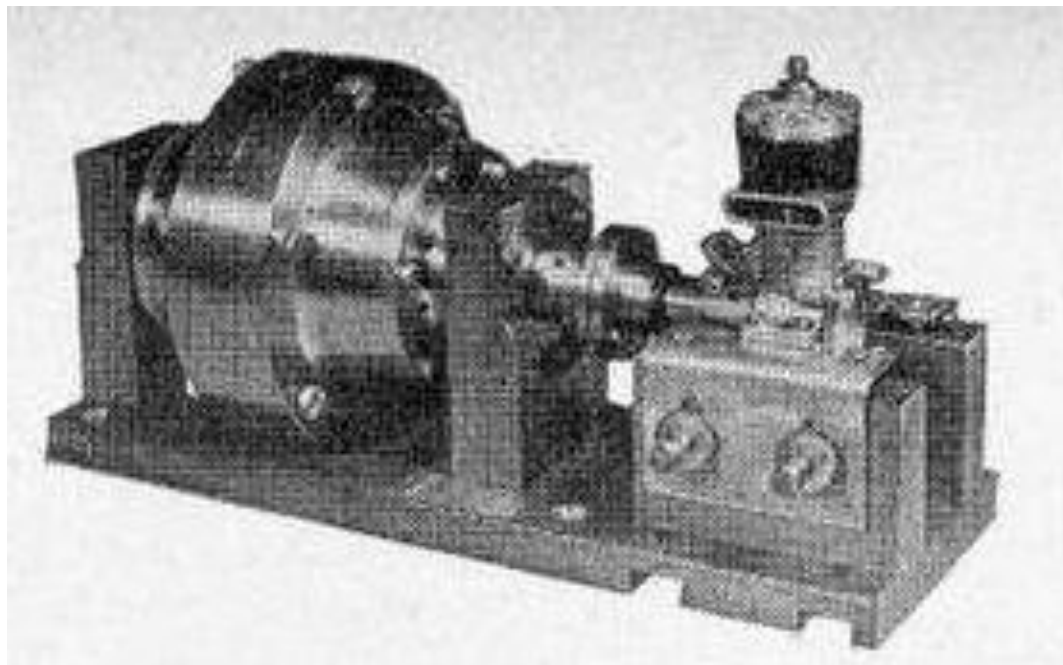
Slika 39. Primjer dijagrama karakteristike snage u ovisnosti o brzini vrtnje. [20]



Slika 40. Ogledni primjer, krivulja okretnog momenta i brzine vrtnje. [20]

6.2. Određivanje okretnog momenta generatorskim dinamometrom

Generatorski dinamometar se za određivanje parametara rada motora za pogon modela zrakoplova prvi puta primjenjuje 1954. g., uređaj je predstavljen u stručnom časopisu „*Aero Modeller*“ iz iste godine.



Slika 41. Prikaz dinamometra iz časopisa „*Aero Modeller*“. [19]

Upotreba dinamometra izazvala je revoluciju u mjerenju okretnog momenta motora malih zapremnina, bila je to do tada najtočnija metoda mjerenja.

Tokom istraživanja problema mjerenja okretnog momenta u obzir su dolazila dva tipa dinamometra.

Prvi je bio s hidrauličkom kočnicom a drugi s električnom. Od hidrauličke kočnice se ubrzo odustalo zbog nepodobnosti za tako male dimenzije.

Dinamometar s električnim kočenjem ispostavio se kao pravi izbor.

Ovakav uređaj radi tako da nazubljeni rotor izrađen od posebne legure željeza (meko željezo) rotira sa malom zračnošću unutar cilindričnog slobodno rotirajućeg kućišta. Oko kućišta je namotana zavojnica koju se može spojiti na izvor napona.

Spoj koljenastog vratila i rotora dinamometra omogućava vrtnju rotora za vrijeme rada motora dok se istovremeno istosmjerna struja dovodi na zavojnicu što stvara magnetsko polje unutar kućišta. Zubi rotora sijeku magnetsko polje što inducira izmjeničnu struju koja se opire vrtnji rotora iz čega proizlazi efekt kočenja. Jačina kočenja se može odrediti ograničavanjem dovedene istosmjerne struje na zavojnicu.

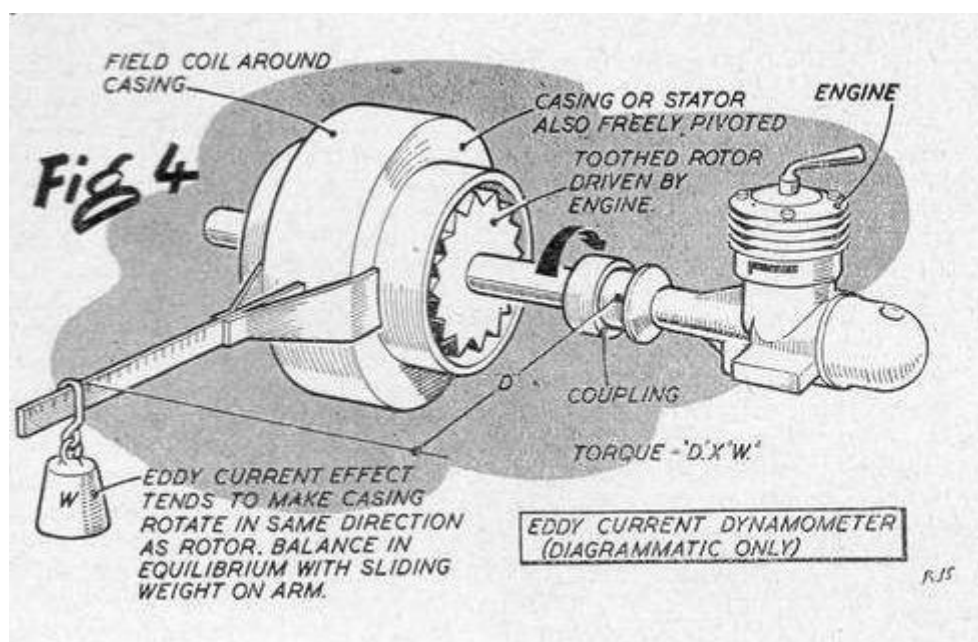
Rotor pokušava zakrenuti cijelo kućište te je iznos te sile veličina koja se mjeri.

Mjerenje se izvodi jednostavnim utegom pričvršćenim na kućište, kada je rotacija kućišta spriječena obješeni uteg je ekvivalent okretnog momenta.

Brzina rotora pričvršćenog umjesto propelera može se jednostavno odrediti podešavanjem struje koja prolazi kroz zavojnicu u kućištu. Očitavanje okretnog momenta za različitu brzinu

vrtnje je time omogućeno bez zaustavljanja motora kao u slučaju mjerenja sa baždarenim propelerima gdje su se propeleri različitih veličina vijkom pričvršćivali na motor.

Izgled i način funkcioniranja opisanog dinamometra vidljiv je i na slici35.



Slika 42. Princip rada Dinamometra sa izmjeničnom strujom. [19]

Jedini gubici uslijed trenja ovakve naprave su oni u kugličnom ležaju kućišta te je njihov utjecaj u većini slučajeva zanemariv.

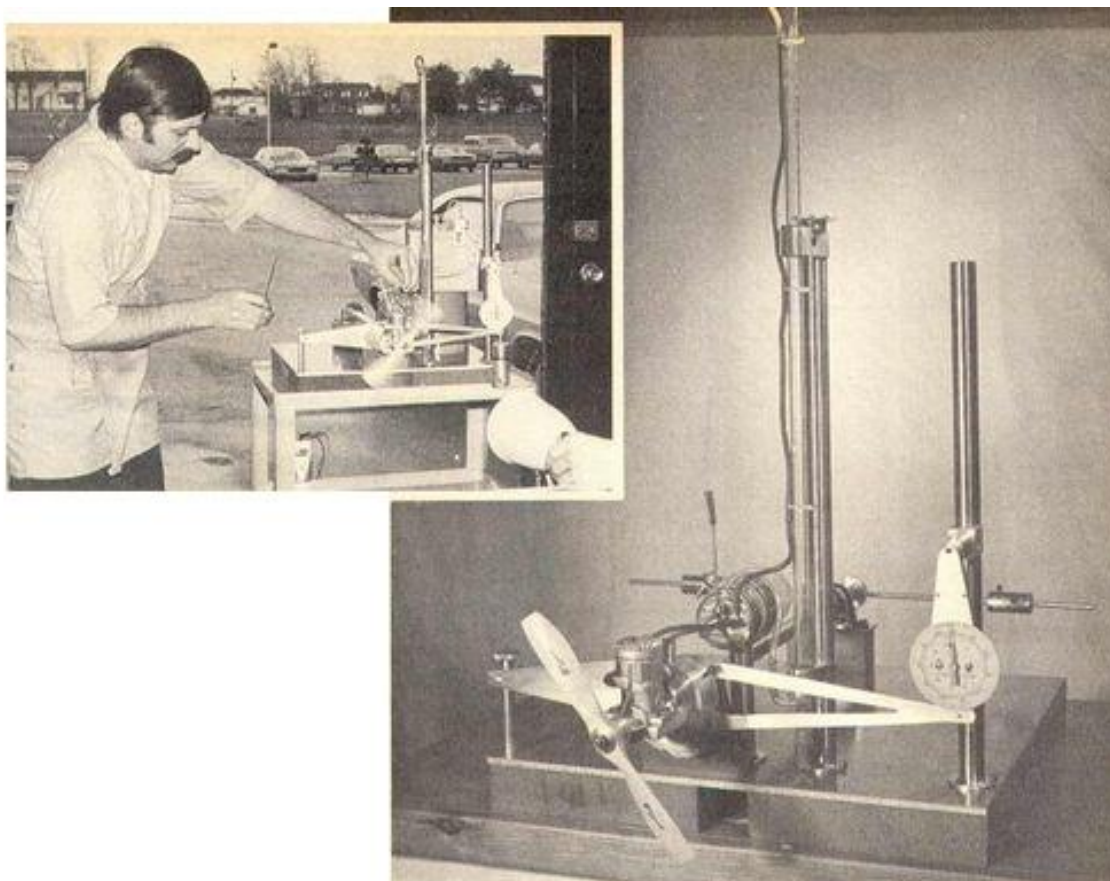
Netočnosti koje su se javljale kod takvog načina mjerenja odstupale su za red veličine od rezultata dobivenih drugim metodama mjerenja i bile su uzrokovane jedino temperaturnim razlikama i iskoristivošću dinamometara. Obzirom na to da su ti faktori bili zanemarivo mali smatralo se da je mjerenje dinamometrom najtočniji način mjerenja do tada.

Izrada ovakvog uređaja prilagođenog za mjerenje okretnog momenta motora malih dimenzija tražila je oko 120 sati pažljivog rada. Bilo je potrebno riješiti problem spoja rotora dinamometra sa raznim motorima kao i problem paljenja motora opterećenog spojenim dinamometrom. Dodatnu prepreku je predstavljalo učvršćivanje motora raznih dimenzija u ispitnu stanicu (u sklopu dinamometra). Univerzalni rotor također nije bio pogodan zbog toga što najmanji tipovi motora u procesu paljenja nisu mogli savladati moment inercije rotora ili je brzina vrtnje bila smanjena toliko da se odgovarajuća mjerenja nisu mogla provesti. Iz toga razloga je proizveden dodatni polimerni rotor čija je masa a posljedično i moment inercije dozvoljavao provedbu mjerenja na motorima od $0,1 \text{ cm}^3$. odnosno sa najvećom zapreminom (u slučaju metalnog rotora) do 10 cm^3 .

Najveća brzina vrtnje koja se sa tim dinamometrom može mjeriti (u slučaju polimernog rotora) je reda veličine 20000 okretaja u minuti.

6.3. Reakcijski dinamometar

Reakcijski dinamometar je naprava sa namjenom mjerenja okretnog momenta motora za pogon modela zrakoplova. Izumitelj Dave Girke bio je srednjoškolski profesor i izradio ju je sa svojim učenicima. Časopis „*Flyingmodels*“ izdanje 6. mjesec 1973. g. izdao je članak na 24 stranice opisujući konstrukcijsku izvedbu, teoriju i način mjerenja reakcijskim dinamometrom.



Slika 43. Reakcijski dinamometar i izumitelj Dave Girke. [19]

Reakcijskim dinamometrom mjeri se okretni moment kojim rotirajući propeler nastoji zakrenuti motor.

Okretni moment kojeg okretanje propelera nameće motoru mjeri se oprugom udaljenom za određeni krak od osi koljenastog vratila. Okretni moment motora računa se množenjem izmjerene sile i puta, gdje je put duljina kraka mjernog instrumenta. Kod proračuna snage očitana vrijednost sile pomnoži se sa izmjerenom brzinom vrtnje (načini mjerenja brzine vrtnje opisani su u poglavlju 6).

$$M = F \cdot l \quad (7)$$

$$P_e = F \cdot \omega \quad (8)$$

Gdje je:

M - okretni moment reakcije motora na vrtnju propelera,

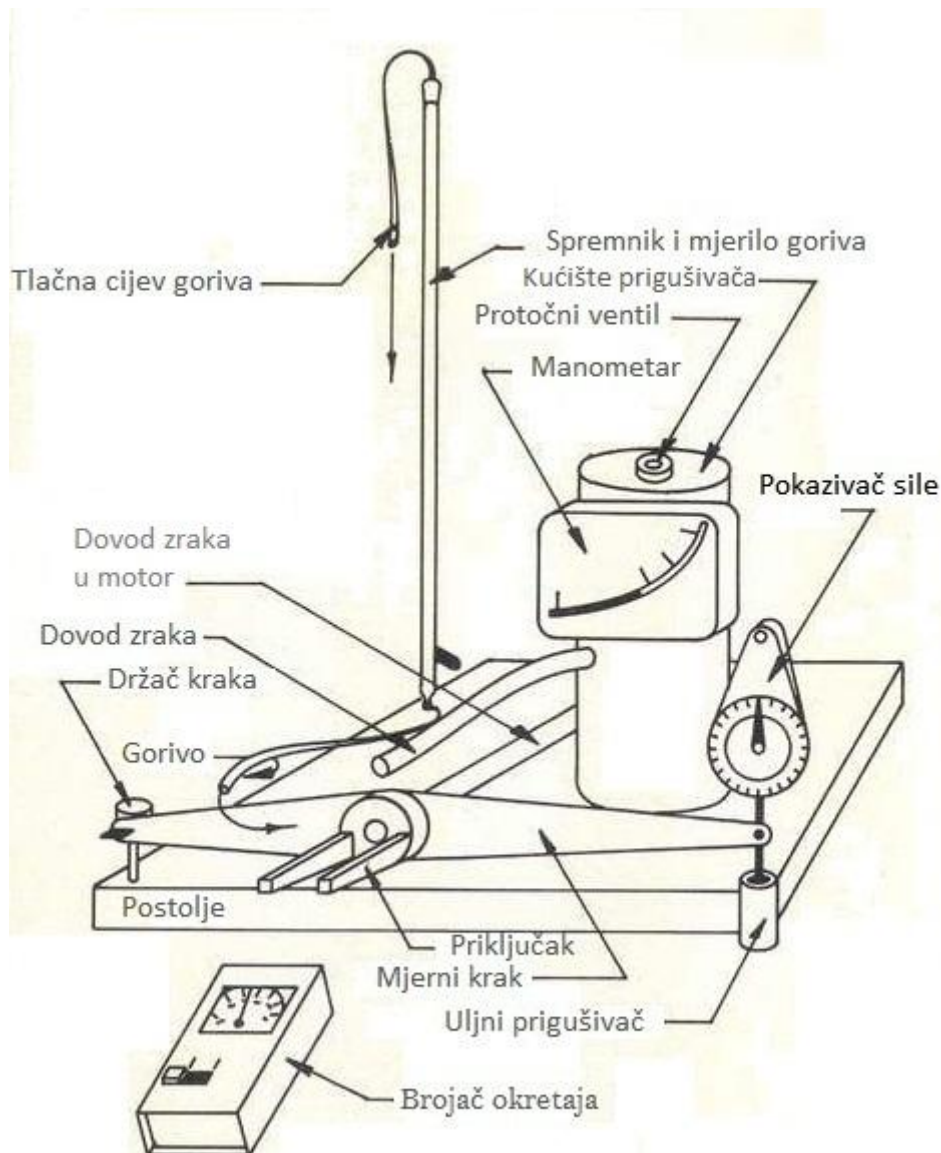
F - izmjerena sila,

l - duljina mjernog kraka prikazanog na slici 43.,

P_e - efektivna snaga,

ω - kutna brzina u sekundama.

Prikaz mjerne stanice dan je slikom 42.



Slika 44. Reakcijski dinamometar sa mjeracem brzine vrtnje. [19]

Osim što se s reakcijskim dinamometrom može mjeriti okretni moment, uređaj također omogućava mjerenje potrošnje goriva kao i određivanje tlaka zraka koji ulazi u motor.

Potrošnja goriva se očitava na mjerilu goriva i dijeli s potrošenim vremenom (očitanim na štoperici).

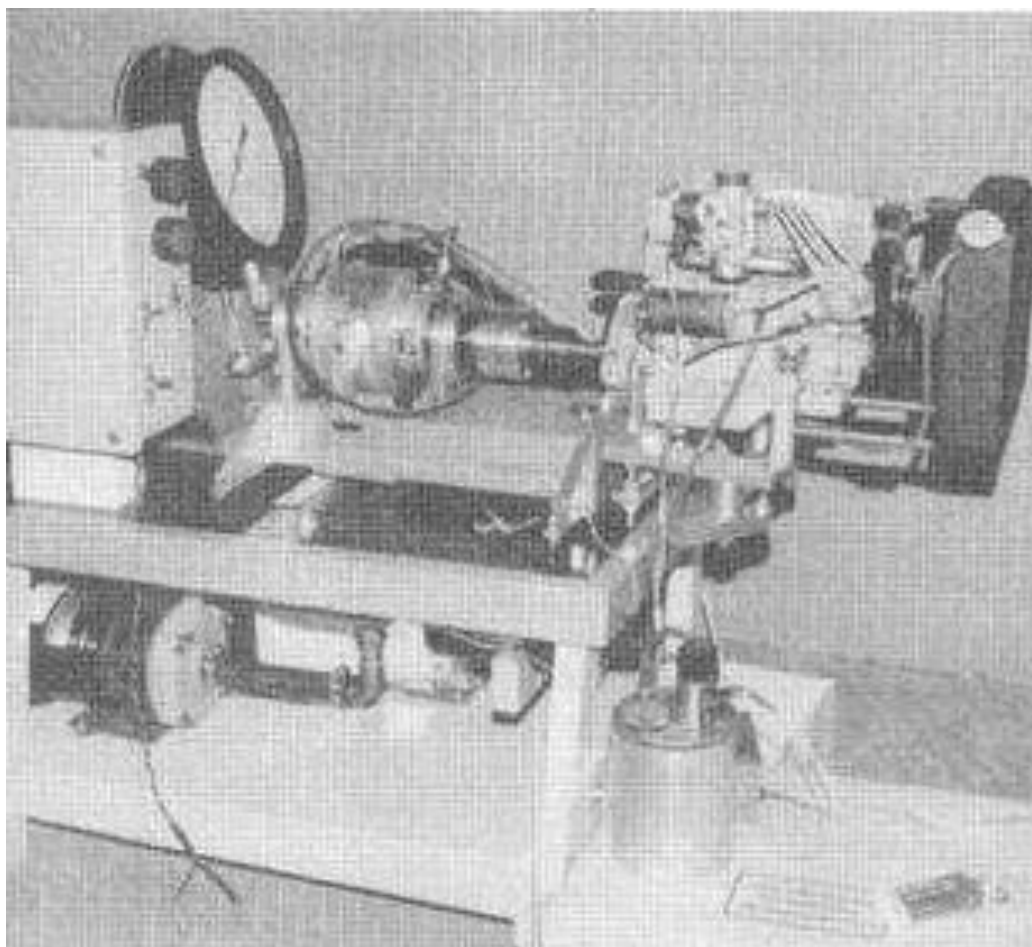
Tlak zraka koji se dovodi u motor određuje se protočnim ventilom i prigušivačem a očitava na manometru.

Ovaj je instrument prikladniji za mjerenje motora većih zapremnina (u rasponu motora za pogon modela zrakoplova) zbog slabog prigušivanja vibracija i posljedičnih netočnosti u očitavanju.

Za mjerenje pri različitim brzinama vrtnje i dalje je potrebno na motor postaviti propelere različitih veličina (budući da sa većim propelerom motor ostvaruje manju brzinu vrtnje) ali potreba za upotrebom baždarenih propelera više ne postoji.

6.4. Hidraulički dinamometar

Ovaj mjerni instrument prvi puta je predstavljen u petom mjesecu 1998. u stručnom časopisu „Strictly IC“. Izradio ga je William Kirk, zaposlenik u odjelu za mjerenja tvrtke General Motors, cjelokupnu dokumentaciju zajedno sa CAD modelima je izradio Bob Washburn.



Slika 45. Kirkov hidraulički dinamometar. [19]

Radi se o hidrauličkom dinamometru kojemu je radni fluid tekućina protiv smrzavanja kakva se koristi u automobilskim motorima (antifriz). Vratilo dinamometra je u izravnom spoju sa koljenastim vratilom. Rotor dinamometra nalazi se unutar kućišta. Na vanjskom obodu rotora i unutarjem kućišta su nasuprotne lopatice. Vratilo prolazi kroz rotor i oslanja se na kuglične ležajeve koji istovremeno dodatno podupiru cijelu konstrukciju. Radna tekućina ulazi u lopatice blizu osi rotacije te se uslijed centrifugalne sile potiskuje prema vanjskom radijusu od kud se odvodi iz dinamometra. uslijed strujanja tekućine preko lopatica stvara se tendencija rotiranja kućišta te se ono koči sustavom poluga i utega na temelju kojih se može odrediti okretni moment.

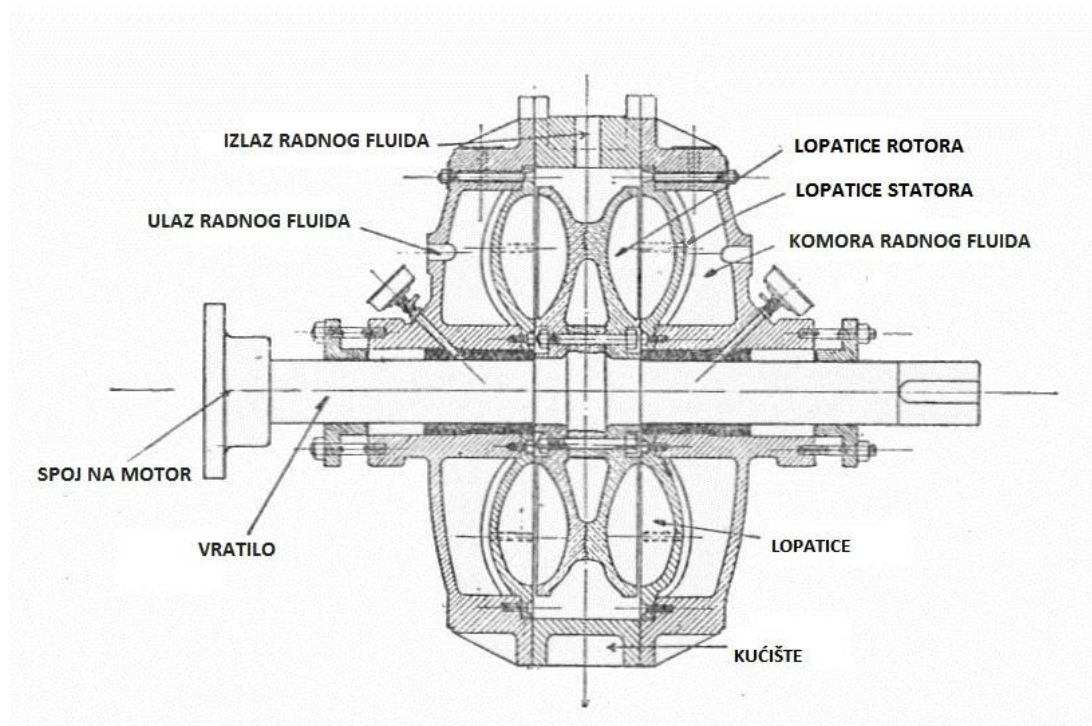
Zbog zagrijavanja fluida uslijed pretvorbe iz kinetičke energije u unutarnju nužno ga je hladiti odnosno izmjenjivati u kućištu, iz toga razloga postoje ulaz i izlaz radnog fluida.

Za potpuno mjerenje se osim okretnog momenta mora odrediti i brzina vrtnje vratila rotora što se postiže nekom od metoda opisanim u poglavlju 6.

Nedostatci ovog dinamometra su komplicirana izrada, održavanje i baždarenje. Također problem predstavlja mjerenje motora malih radnih volumena. Zrakom hlađeni motori zbog opterećenja koje im mjerni instrument nameće i nedovoljnog hlađenja brzo se pregrijevaju.

Prednost su vrlo točni rezultati, jedan takav uređaj se koristi na sveučilištu u Idahu.

Princip rada Froude-ovog hidrauličkog dinamometra koji je analogan Kirkovom prikazan je slikom 44.



Slika 46. Froudeov hidraulički dinamometar. [21]

6.5. Inercijski dinamometar

Inercijski dinamometri su se prvotno koristili za mjerenje okretnog momenta motora radnih volumena oko 100 cm^3 . korištenih za karting, nakon čega ih se počelo koristiti u mjerenjima motora trkaćih zrakoplovnih modela.

Inercijski dinamometar ima jednostavnu konstrukcijsku izvedbu. Sastoji se od rotirajućeg diska, kugličnih ležajeva, centrifugalne spojke i uređaja za mjerenje brzine vrtnje diska.

Rotirajući disk se zavisno o tipu motora spaja na vrtilo ili mjesto spoja sa propelerom. Uređajem za mjerenje brzine vrtnje (poglavlje 6) određuje se kutno ubrzanje.

Osnovna razlika u načinu mjerenja u odnosu na apsorpcijske dinamometre (generatorski, reakcijski i hidraulički) je da inercijski dinamometar izuzev inercije diska, ne opterećuje vrtilo motora. Mjerena veličina je ubrzanje diska kojeg motor ubrzava.

Na osnovu toga ubrzanja i poznate inercije diska lako se izračunava okretni moment kojega motor stvara na svom koljenastom vratilu odnosno prenosi na vijak propelera u slučaju takvog spoja.

Mjerenja se vrše samo za vrijeme ubrzavanja motora te zbog toga ne dolazi do značajnijeg zagrijavanja (problem kod zrakom hlađenih motora). Kod drugih metoda mjerenja dolazi do značajnijeg porasta temperature zbog rada motora u različitim režimima te će zbog toga postojati i razlike u rezultatima. Inercijski dinamometar uobičajeno daje malo veće vrijednosti okretnog momenta.

Zbog toga što se mjeri samo u jednom režimu rada (ubrzavanju), trošenje skupocjenih trkaćih motora također je svedeno na minimum.

Inercijski dinamometri su zbog svoga načina mjerenja opasni po mjeritelja. Energija motora se ne pretvara u unutarnju energiju kao kod dinamometra koji rade na principu kočenja već se cjelokupni iznos pretvara u kinetičku energiju rotacije diska. U slučaju preopterećenja diska može doći do njegova pucanja i ozljeđivanja prisutnih. Najveća naprezanja javljaju se po sredini osovine diska.

Iz navedenog slijedi da se kod konstruiranja inercijskog dinamometra najveća pažnja mora posvetiti rotirajućem disku.

Inercijski dinamometri su najprikladniji za mjerenje okretnog momenta trkaćih motora modela zrakoplova gdje su brzine okretanja koljenastog vratila najveće.



Slika 47. Ispitivanje motora inercijskim dinamometrom. [19]

6.6. Usporedba metoda

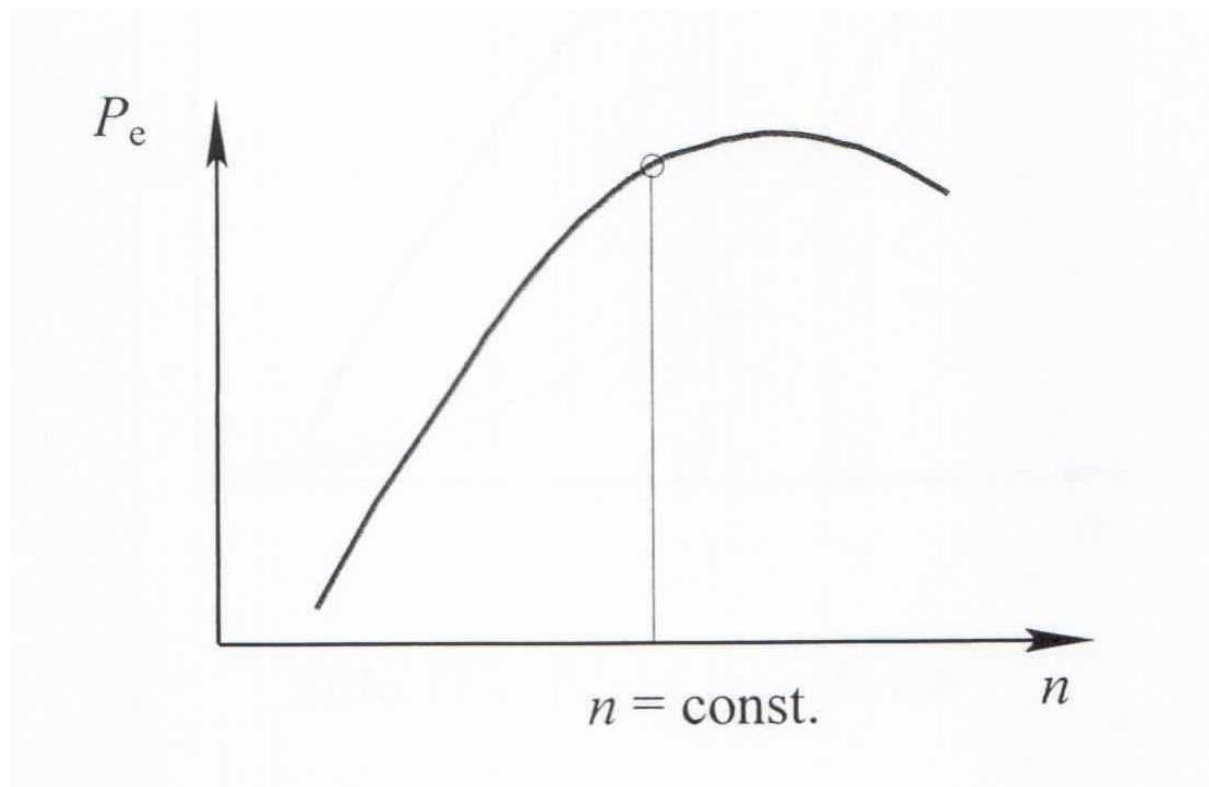
Sve prikazane metode se odnose na mjerenje ili uspoređivanje okretnog momenta kao osnovnog parametra rada motora. Iako je samo kod Girke-ovog reakcijskog dinamometra prikazano mjerenje tlaka ulaznog zraka i potrošnja goriva, navedeni se parametri lako mogu mjeriti i kod ostalih metoda. Potrošnja goriva se uobičajeno određuje vagom i štopericom dok se tlak ulaznog zraka očitava sa jednostavnog barometra.

Svaka od metoda je načelno primjenjiva za mjerenje parametara Cox-ovih 020 motora

7. ODREĐIVANJE BRZINE VRTNJE MOTORA

Određivanje brzine vrtnje motora modela zrakoplova provodi se kako bi mogli odrediti radnu točku motora.

"Radna točka (način rada motora) određena je brzinom vrtnje i snagom ili momentom motora". [3]



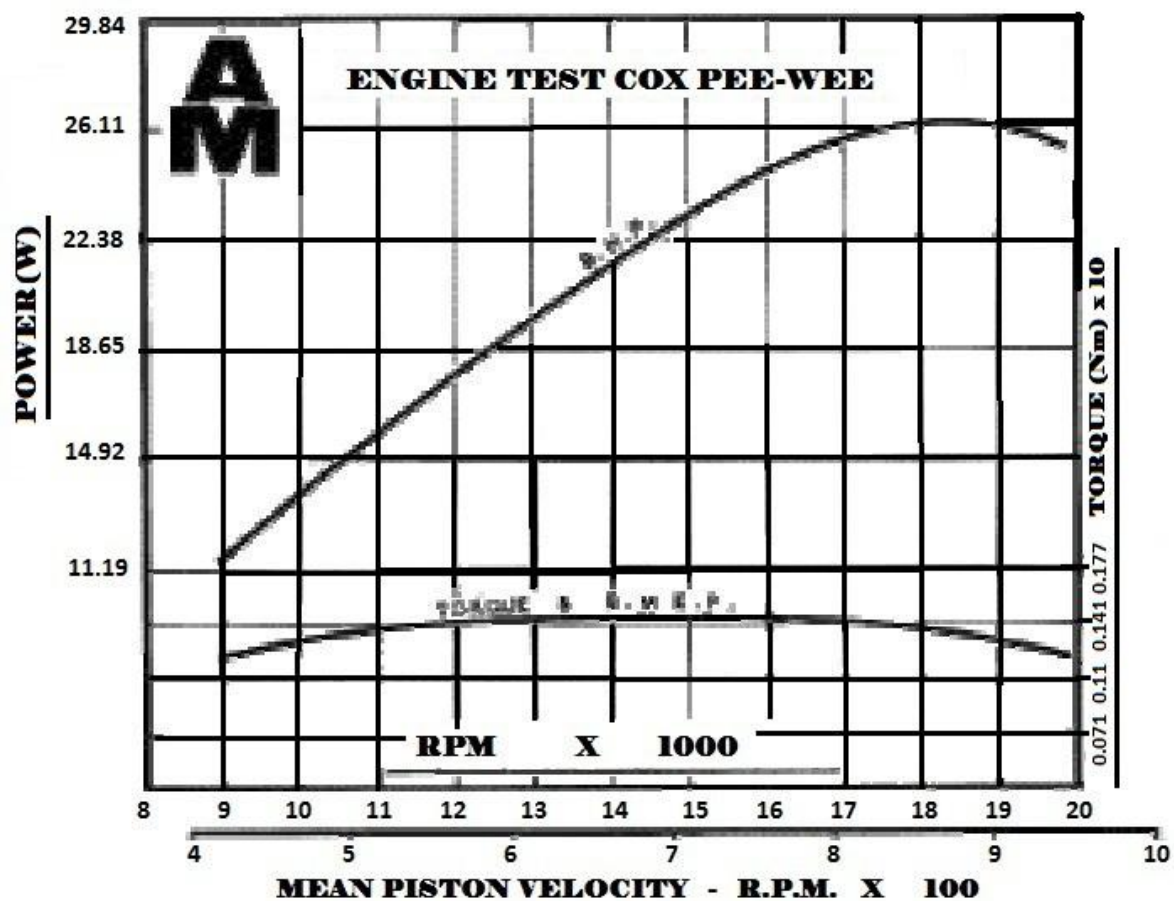
Slika 48. Radna točka određena snagom i brzinom vrtnje. [3]

Radna točka se nalazi u radnom području koje je određeno brzinom vrtnje motora u praznom hodu i maksimalnom brzinom vrtnje.

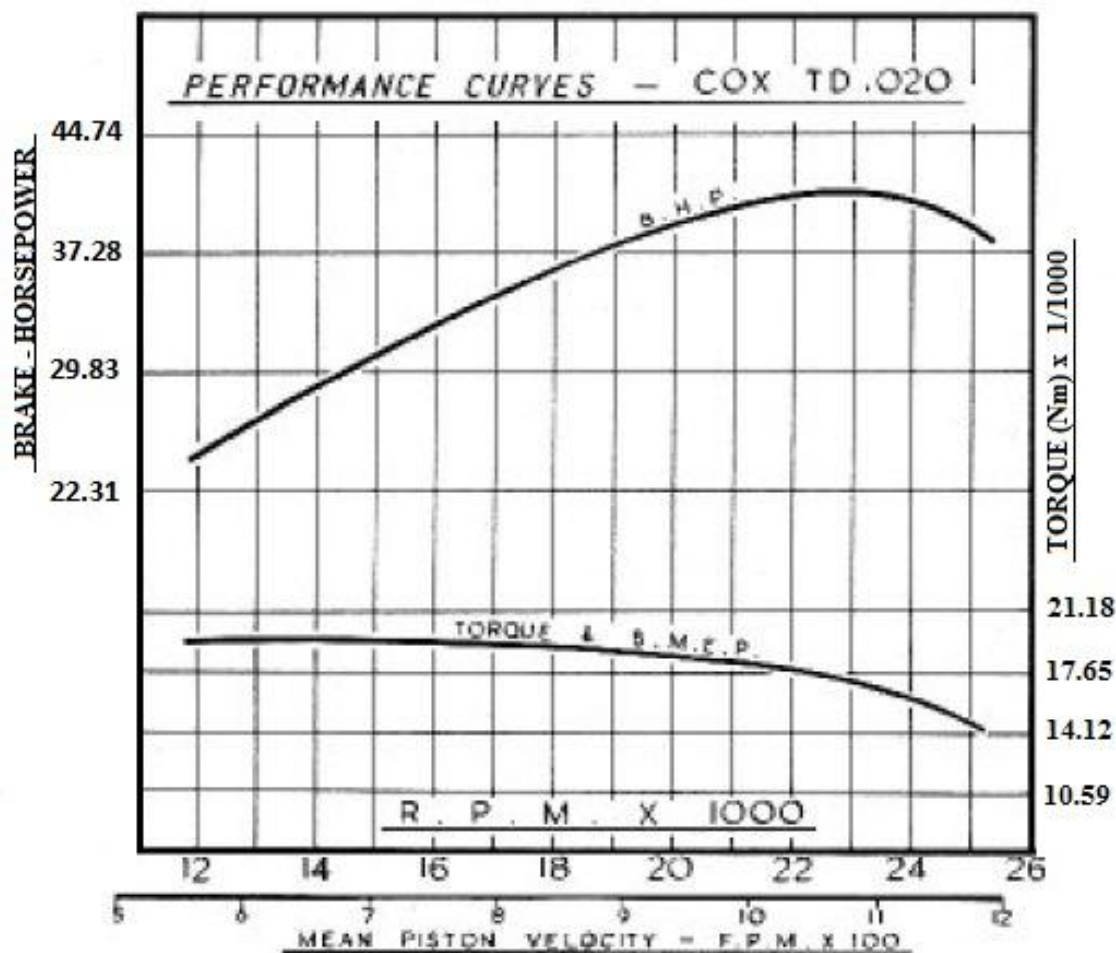
Bilježenjem izmjerene brzine vrtnje na apscisi i izmjerenog okretnog momenta na ordinati te spajanjem dobivenih točaka dobivamo krivulju brzinske karakteristike motora.

Osim okretnog momenta, zanimljiva nam je i efektivna snaga motora koja se može izračunati množenjem okretnog momenta i kutne brzine koljenastog vratila.

U nastavku poglavlja dana su dva dijagrama koja prikazuju zavisnost okretnog momenta, odnosno snage o brzini vrtnje motora. Dijagrami prikazuju rezultate dobivene za dva tipa "Cox 020" motora ("Pee Wee 020" i "Tee Dee 020").



Slika 49. Dijagram brzinskih karakteristika motora "Pee Wee 020". [1]



Slika 50. Dijagram brzinskih karakteristika motora "Tee Dee 020". [4]

Slike 47. i 48. prikazuju dijagrame ovisnosti snage i kutne brzine te okretnog momenta i kutne brzine za motore „Pee Wee 020“ i „Tee Dee 020“.

Određivanje brzine vrtnje motora, postupak je koji prvenstveno ovisi o samom motoru čije se performanse mjeri i geometrijskim karakteristikama bitnim za postupak mjerenja. Prije samoga mjerenja valja uzeti u obzir neke čimbenike koji utječu na rezultat. Ti čimbenici su kako slijedi:

- Mješavina goriva.
- Tip propelera.
- Nečistoće na unutarnjoj strani cilindra.

Mješavina goriva je uz tip propelera ključan čimbenik koji utječe na rezultate mjerenja brzine vrtnje motora.

"Zavisno o udjelu nitrometana i ulja na metanolnoj osnovi i odabranom propeleru, brzina vrtnje motora "Pee Wee 020" može varirati u rasponu od 5000 $^{\circ}/\text{min}$ dok je za motor "Tee Dee 020" taj raspon i do 10 000 okretaja u minuti." [1]

Tip propelera utječe na rezultat mjerenja kada propeler koristimo kao izvor informacije. Kao primjer se može uzeti mjerenje optičkom reflektivnom metodom (opisanom u poglavlju 7.1) gdje se na krak propelera lijepi reflektivna traka od koje se odbija usmjerena svjetlosna zraka

(laserska zraka). Brzina kojom se svjetlosna zraka reflektira je podatak iz kojeg na osnovu geometrije propelera računamo brzinu vrtnje.

Nečistoće na unutarnjoj strani cilindra utječu u nešto manjoj mjeri na brzinu vrtnje Cox-ovih 020 motora ($2000 \div 3000 \text{ }^{\circ}/\text{min}$).

Kako bi se odabrao pogodan tip senzora za mjerenje brzine vrtnje nužno je poznavati mehanizme rada pojedinih vrsta koje se koriste za mjerenja brzine vrtnje motora.

Dvije najčešće metode mjerenja brzine vrtnje su optička i indukcijska, uz ove dvije navedene koristi se i zvučna metoda, ali samo u svrhu okvirne procjene brzine vrtnje zbog svoje manje točnosti.

7.1. Optičke metode mjerenja brzine vrtnje

U osnovi optičke metode za mjerenje brzine vrtnje rade na principu refleksije ili prekida usmjerene zrake svjetlosti.

Reflektivni senzor radi tako da mjeri odbijenu svjetlosnu zraku od mjerene plohe.

Senzor koji radi na prekidnom principu mjeri tako da promatrani objekt prekida svjetlosnu zraku koja svijetli od izvora do prijamnika. Nedostatak ovakvog tipa senzora je što se mjereni objekt mora nalaziti između izvora i prijamnika. Prednost je cijena koja je u najjednostavnijim izvedbama manja od senzora reflektivnog tipa.

Postoji i treća izvedba svjetlosnih senzora koja je proširenje prekidnog senzora. Mjerenje se izvodi tako da umjesto jednog prijamnika koristimo dva koji su pomaknuti za određeni kut po radijusu u odnosu na mjereni objekt. Osim što ovakva metoda pruža mogućnost mjerenja frekvencije prekida svjetlosne zrake, omogućuje i određivanje smjera vrtnje na temelju vremenske razlike u prekidu zraka.

U aeromodelarstvu od navedenih optičkih metoda određivanja brzine vrtnje motora najčešće se koristi reflektivna optička metoda.

Postupak mjerenja reflektivnim senzorom provodi se u pet koraka:

1. Motor se pričvršćuje u poziciji koja odgovara mjerenju, najčešće se to provodi uz pomoć staka posebno izrađenog za ispitivanje motora. Motor je moguće pričvrstiti i uz pomoć škripca ili jednostavnim spajanjem vijcima na drvenu građu.



Slika 51. Stalak za pričvršćivanje Cox motora. [22]

2. Zalijepiti reflektivnu traku na jedan ili oba kraka propelera. Reflektivna traka služi za odbijanje svjetlosne zrake mjernog instrumenta.
3. Optički mjerni instrument za mjerenje brzine vrtnje laserskom zrakom namješta se nasuprot propelera sa reflektivnom trakom.



Slika 52. Optički mjerač brzine vrtnje laserskom zrakom. [23]

4. Pokretanje motora i usmjeravanje laserske zrake mjernog uređaja u pravcu kojim prolazi krak propelera s reflektivnom trakom.
5. Uključivanje i očitavanje brzine vrtnje s mjernog instrumenta, po potrebi moguće je postupak provesti pri različitim brzinama vrtnje.

7.2. Magnetske metode mjerenja brzine vrtnje

Magnetski senzori brzine vrtnje mjere na nekoliko različitih načina.

Najčešći principi rada su sa promjenjivim induktivnim otporom, sensorima sa prostornim efektom i Wiegand-ovim sensorima.

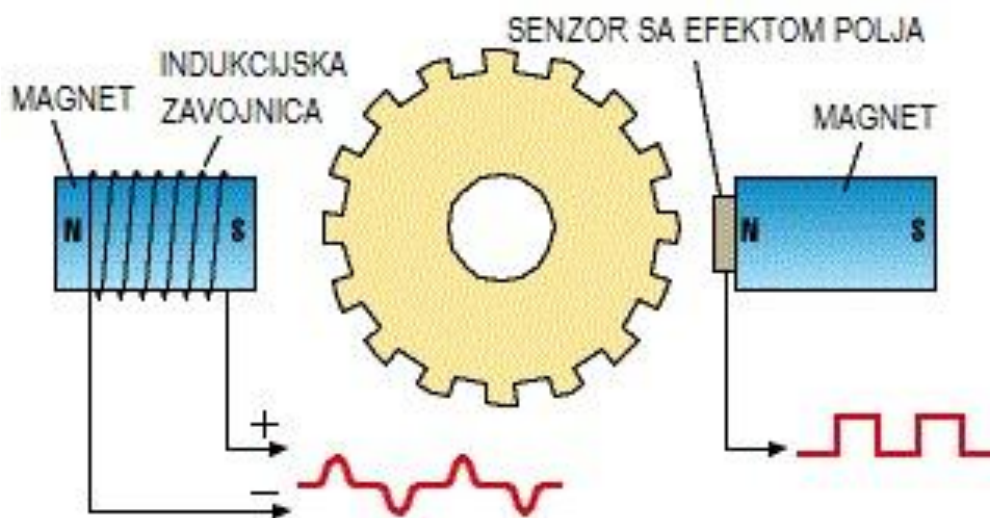
Senzor sa promjenjivim induktivnim otporom je jednostavan i pouzdan. Mjereni signal je sinusoidalnog oblika, a njegova frekvencija se mijenja linearno sa promjenom brzine promatranog rotirajućeg objekta. Kako bi mjerenje bilo moguće potrebna je minimalna brzina vrtnje koja je u stanju izazvati primjetne promjene u magnetskom polju.

Senzori brzine vrtnje sa efektom polja (Halovi-senzori) također mjere promjene magnetskog polja s tom razlikom da se uz pomoć induktivnog davača (indukcijske zavojnice namotane na

magnet) spojenog na izvor napajanja stvara magnetsko polje. Neke od prednosti naspram senzora sa promjenjivim induktivnim otporom su da imaju mogućnost rada na velikom temperaturnom rasponu i razne nečistoće ne utječu na mjerenja te omogućavaju mjerenje vrlo malih brzina.

Oba tipa senzora pretpostavljaju da su dijelovi čiju brzinu vrtnje mjerimo feromagnetski te da njihov oblik na odgovarajući način sječe silnice magnetskog polja. Ta dva navedena uvjeta čine ove magnetske metode nepogodne za mjerenje "Cox 020" motora.

Princip rada senzora brzine vrtnje sa promjenjivim magnetskim otporom i senzora sa efektom polja prikazan je slikom 47.

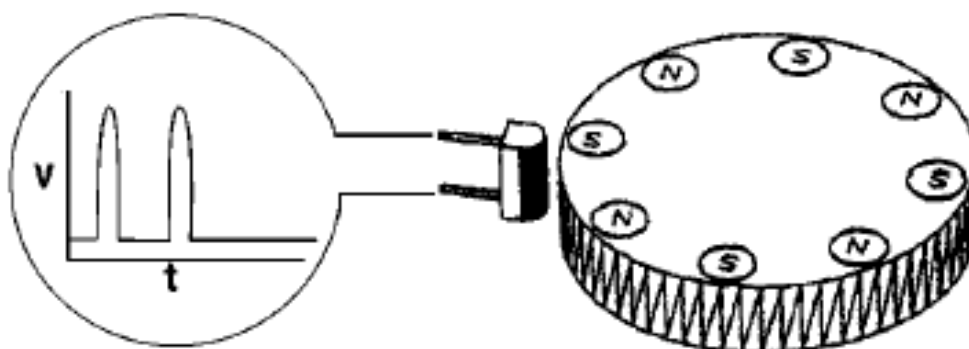


Slika 53. Princip rada senzora sa promjenjivim magnetskim poljem i senzora sa efektom polja. [24]

Wiegandov senzor brzine vrtnje također funkcioniра uz pomoć zavojnice i magneta sa razlikom da je magnet pričvršćen na rotirajući dio motora što ovu metodu čini nepogodnom za mjerenje brzine vrtnje "Cox 020" motora.

Ključan element Wiegandovog senzora je Wiegandova žica.

Wiegandova žica je feromagnetska legura kojoj je plašt materijal „široke petlje histereze“ i veće koercitivne sile, a jezgra je materijal sa „uskom petljom histereze“ i manjom koercitivnom silom. Široka i uska petlja histereze odnose se na odnos magnetske indukcije i jakosti magnetskog polja, a koercitivna sila je sposobnost feromagnetskog materijala da zadrži magnetsku polarizaciju po prestanku djelovanja induktivnog magneta. Posljedica ovakve legure je mogućnost različite polarizacije žice (vanjskog plašta i jezgre). U prisustvu magnetskog polja plašt će promijeniti svoju magnetsku polarizaciju samo ako se radi o jačem magnetskom polju od onog koje je potrebno za promjenu polarizacije jezgre. Stavljanjem Wiegandove žice pod utjecaj magnetskog polja dolazi do polarizacije prvo jezgre a onda i plašta te se ta polarizacija odražava se na magnetski tok koji se može mjeriti zavojnicom namotanom oko žice. Ako blizinom Wiegandove žice prolazi magnet moguće je izmjeriti četiri signala, prva dva signala su posljedica promjene polarizacije zbog utjecaja jednog pola magneta a druga dva su posljedica utjecaja drugog pola magneta.



Slika 54. Shema mjerenja Wiegandovim senzorom. [25]

7.3. Zvučna metoda mjerenja brzine vrtnje

Zvuk kojeg motor proizvodi vrlo je složen i općenito se opisuje kao skup harmonika jedne osnovne frekvencije. Osnovna frekvencija ne mora sama po sebi biti prisutna u frekvencijskom spektru, ali se njezina frekvencija može očitati iz učestalosti harmonika.

Buka koju proizvodi većina motora s unutarnjim izgaranjem za pogon modela zrakoplova ima velik broj harmonika visoke frekvencije.

Zvučni senzor brzine vrtnje uz pomoć mikrofona uzima uzorke zvuka u malom vremenskom intervalu (oko $\frac{3}{4}$ sekunde) iz kojega bilježi sve vršne zvučne vrijednosti danog frekvencijskog spektra. Svaka vršna vrijednost odgovara nekom harmoniku osnovne frekvencije. Upravljački program instrumenta tada pretražuje i uspoređuje zabilježene vršne vrijednosti sa harmonicima različitih osnovnih frekvencija. Frekvencija čiji harmonici najbolje odgovaraju zabilježenim vršnim vrijednostima zvuka je frekvencija radnih ciklusa motora. [27]

Smatra se, a i iskustvo pokazuje da ova metoda daje rezultate zadovoljavajuće točnosti. U praksi, naravno ovisno o uređaju, to znači da je točnost reda veličine jedan ciklus u sekundi.

Najčešće korištena metoda kojom se određuje navedena osnovna frekvencija je Fourierova analiza periodične funkcije koja izlučivanjem i zbrajanjem niza sinusnih i kosinusnih vrijednosti daje traženu funkciju. Nakon toga se koristi Fourierova transformacija za pretvaranje funkcije zavisne o vremenu u funkciju zavisnu o frekvenciji (funkcija se prebacuje iz vremenske u frekvencijsku domenu).



Slika 55. Instrument za određivanje brzine vrtnje dvotaktnog motora, proizvođač Aeroboss, model AT.2



Slika 56. Instrument za određivanje brzine vrtnje dvotaktnog motora, proizvođač Aeroboss, model AT.3. [28]

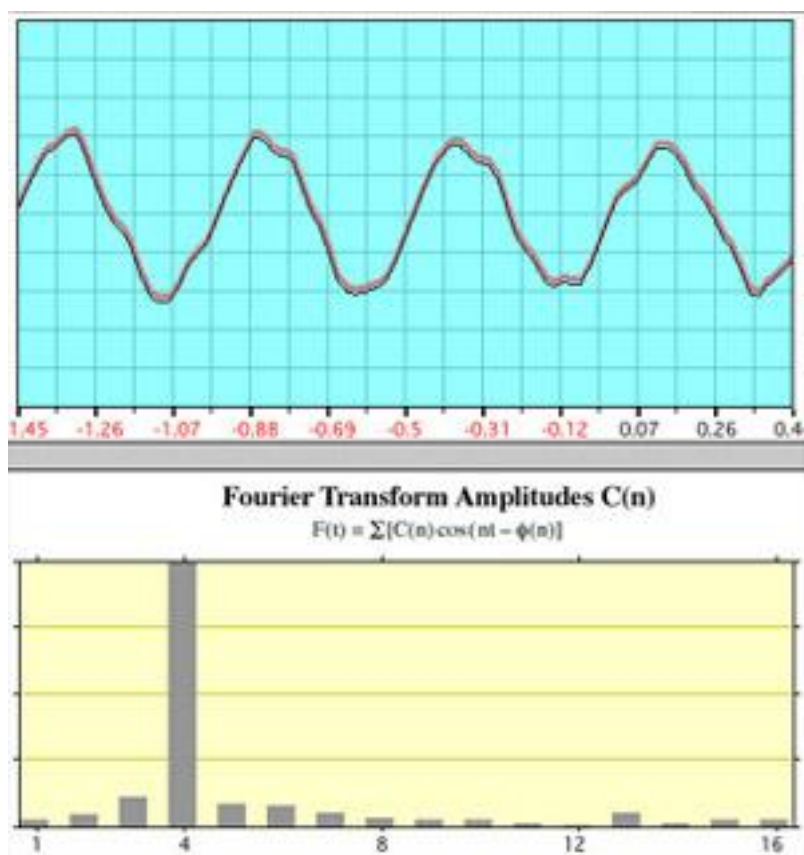
Način na koji navedena metoda određuje osnovnu frekvenciju dat će se sljedećim primjerom.

Zabilježen je zvuk dvaju različitih periodično odašiljućih zvučnih izvora (A i B).

Napon kojeg mikrofon prosljeđuje osciloskopu uslijed zvuka s izvora A u jedinici vremena prikazan je na gornjem dijagramu slike 55.

Donji dijagram slike 55. predstavlja zabilježenu funkciju nakon Fourierove transformacije i pokazuje da je signal najjači na jednoj, tako zvanoj osnovnoj frekvenciji.

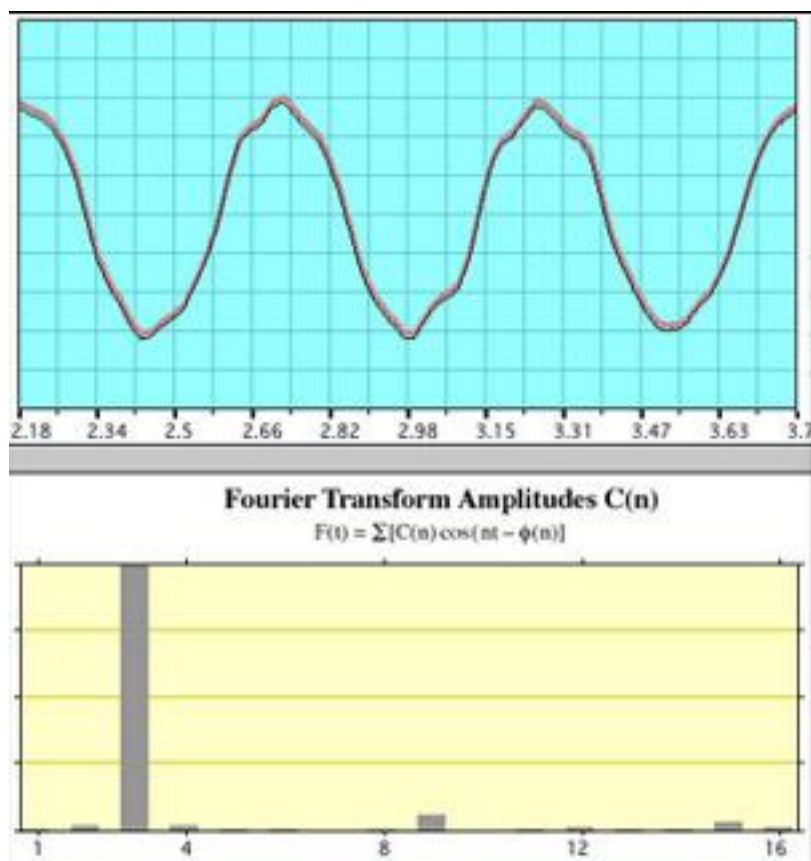
Vrijednost 4, na kojoj je intenzitet signala najveći označava broj perioda (frekvenciju) na kojoj je signal najjači (4 Hz).



Slika 57. Signal A zabilježen kao napon sa mikrofona i nakon Fourierove transformacije. [29]

Napon kojeg mikrofon prosljeđuje osciloskopu uslijed zvuka s izvora B u jedinici vremena i njegova Fourierova transformacija prikazana je na slici 56.

Jedina razlika je što je nakon snimanja signala i njegove transformacije vidljivo da se signal manifestira na manjoj frekvenciji (3Hz).



Slika 58. Signal B zabilježen kao napon sa mikrofona i nakon Fourierove transformacije. [29]

8. Mjerenje brzine vrtnje motora

Zadatkom i planom rada u okviru ovog završnog rada bilo je predviđeno i mjerenje brzine vrtnje motora Cox Tee Dee. S tim ciljem nabavljen je odgovarajući motor te odgovarajući stalak.

Obzirom da nabavljeni motor dulje vrijeme nije bio korišten, s ciljem stavljanja u pogon nabavljeni su odgovarajući zamjenski dijelovi (venturi brtva, brtva spremnika goriva, opruga i igla ventila rasplinjača). Tijekom pokušaja pokretanje motora ustanovljeno je da je dio na sklopu za usis zraka neispravan zbog čega nije bilo moguće motor pokrenuti i dovesti u ga samostalan rad.

Bilo je planirano mjerenje brzine vrtnje motora optičkom metodom s reflektivnim senzorom opisanom u poglavlju 7.1., a kao druga metoda odabrano je mjerenje korištenjem akustičnog (zvučnog) instrumenta za što je nabavljen (posuđen) uređaj Aeroboss AT.2 (slika **Error! Reference source not found.**).

Obzirom na navedene probleme mjerenje je zbog nedostatka vremena u okviru izrade završnog zadatka moralo biti obustavljeno.

9. Zaključak

Ovim radom nastojalo se detaljnije ući u jedan od aspekata aeromodelarstva, motore za pogon modela zrakoplova.

U tu svrhu se krenulo od značajnog proizvođača "Cox" i njegove uspješnice, serije motora sa oznakom 020 (motori zapremnine 0.3 cm^3).

Značaj tvrtke "Cox" i njihovih motora za pogon modela je u tome što su prvi krenuli u masovnu proizvodnju minijaturnih motora četrdesetih godina dvadesetog stoljeća.

U radu je dan pregled najpoznatijih Cox-ovih motora kao i detaljniji opis 020 - serije, konkretno motora "Pee Wee 020".

U poglavlju 3 "KONSTRUKCIJSKA IZVEDBA MOTORA COX-020" dan je kratak opis i razlike "Cox-ovih 020" modela, motora "Pee Wee 020" i "Tee Dee 020". Za motor "Pee Wee 020" dane su specifikacije, dimenzije ("Pee Wee 020" i "Tee Dee 020" imaju iste osnovne dimenzije) i opis dijelova od kojih je motor sastavljen. Prikazan je također postupak izrade cilindra i skica presjeka motora sa dijelovima za pripremu gorive smjese.

Ovo poglavlje daje uvid u izvedbu "Cox-020" motora i način na koji su dijelovi napravljeni. Jednostavnost u izradi i odabiru materijala su razlog zbog kojeg su ovi motori bili široko dostupni. Motori stariji od 30 godina i danas su u upotrebi bez većih ulaganja od izmjene brtvi i čišćenja unutrašnjosti cilindra.

U poglavlju 4 "GORIVO I PRIPREMA GORIVE SMJESE ZA MOTOR COX-020" objašnjen je postupak pripreme goriva za "Cox-ove 020" motore "Pee Wee 020" i "Tee Dee 020", također su dani osnovni podaci pripreme goriva za ostale "Cox" motore. Dani su osnovne informacije o sastojcima gorive mješavine kao i detaljniji opis utjecaja ulja na mješavinu.

Ovo poglavlje daje informacije potrebne za razumijevanje goriva i pripremu gorive mješavine "Cox-ovih 020" motora

Poglavljje 5 "UTJECAJ SASTAVA GORIVA NA PERFORMANSE MOTORA" prikazuje na koji način pojedini sastojci goriva utječu na performanse motora. Promjena sadržaja nitrometana, ulja i same mješavine ulja imaju znatan utjecaj na performanse. Pod uvjetom da se koristi mješavina koja omogućava rad motora, brzina vrtnje koljenastog vratila može se mijenjati i do 50 % sa povoljnijim odnosno lošijim odabirom sastava i sastojaka goriva.

Ovim poglavljem nastojao se dati uvid u osnove utjecaja goriva na performanse "Cox-ovih 020" motora. Vidljivo je da čak i kod odgovarajuće gorive mješavine performanse motora mogu značajno varirati, kako kratkoročno, tako i dugoročno. Potreban je odabir mješavine koja omogućava visoke performanse ili dulje razdoblje između servisa (izmjene potrošnih dijelova i čišćenja od naslaga izgaranja).

Poglavljje 6 "PARAMETRI RADA MOTORA "COX 020" U RAZLIČITIM REŽIMIMA RADA" bavi se sa pet osnovnih metoda mjerenja parametara rada motora za pogon modela zrakoplova. Svaka od navedenih metoda može se koristiti za određivanje parametara "Cox 020" motora. Pod pojmom parametri rada smatra se okretni moment kojeg je motor u stanju proizvesti (najčešće mjereno na koljenastom vratilu) i brzinu vrtnje motora. Poglavlje 6 uglavnom se bavi mjerenjem okretnog momenta.

Poglavlje 7 "ODREĐIVANJE BRZINE VRTNJE MOTORA" prikazuje poznatije načine mjerenja brzine vrtnje, optičke i magnetske. Od navedenih najkorišteniji je optički reflektivni postupak čiji su koraci od pripreme motora za mjerenje do očitavanja rezultata detaljnije opisani.

"

"

10. LITERATURA

- [1] Peter, C., Cox Pee Wee 020 engine test, Aero Modeller, March 1976.
- [2] Hepperle, M., Cox Engines, http://www.mh-aerotoools.de/airfoils/cox_frameset.htm, datum pristupa 2013-01.
- [3] Lulić, Z., Klipni motori – skripta, FSB, Zagreb, 2010.
- [4] Cox Tee Dee 020 engine test, Aero Modeller, October 1979.
- [5] RC Model Reviewers. <http://www.rcmodelreviews.com/goodoil.shtml>, datum pristupa 2013-01.
- [6] Sookdeo, T., Cox Tee Dee 010 Performance measurement, simulation and analysis, Master of Science thesis, University of Maryland, 2006.
- [7] Cox International, <http://coxengines.ca/cox-020/>, datum pristupa: 2012-12.
- [8] Općenito o COX motorima, http://en.wikipedia.org/wiki/Cox_model_engine, datum pristupa: 2012-10.
- [9] Općenito o motorima za pogon modela zrakoplova, http://en.wikipedia.org/wiki/Model_engine, datum pristupa: 2012-10.
- [10] Primjer zvjezdastog motora za pogon modela zrakoplova, <http://www.flickr.com/photos/nomad55/2708268311/in/photostream/>, datum pristupa 2012-10.
- [11] Care and operation of your Cox Tee Dee 020 and Tee Dee 010 engines, http://www.mh-aerotoools.de/airfoils/cox_frameset.htm, datum pristupa 2012-11.
- [12] Cox Pee Wee 020 care and operation, http://www.mh-aerotoools.de/airfoils/cox_frameset.htm, datum pristupa 2012-12.
- [13] Cox International, <http://coxengines.ca/top-end/>, datum pristupa: 2012-12.
- [14] Cox International, <http://coxengines.ca/back-end/>, datum pristupa: 2012-12.
- [15] Dijelovi Cox motora, <http://www.exmodelengines.com/cox-.020-parts/>, datum pristupa: 2013-01.
- [16] Dijelovi Cox motora, <http://coxengines.ca/front-end/index3.html>, datum pristup: 2013-01.
- [17] Cox International, Alat za pokretanje uglavljenog klipa i klipnjače, <http://coxengines.ca/cox-.020-piston-reset-tool.html>, datum pristupa 2013-01.

- [18] Biljka ricin od koje se proizvodi ricinusovo ulje, http://en.wikipedia.org/wiki/Castor_oil_plant, datum pristupa: 2013-02.
- [19] Model Engine News, načini mjerenja performansi motora za pogon modela zrakoplova, <http://modelengineneeds.org/techniques/testing.html>, datum pristupa 2012-12.
- [20] Gordon Cornell, razvoj motora za pogon modela zrakoplova - načini mjerenja performansi, <http://modelengineneeds.org/cornell/p9.html>, datum pristupa: 2012-12.
- [21] Wikimedia Commons, primjer hidrauličkog dinamometra, [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Froude's_hydraulic_dynamometer_section_\(Rankin_Kennedy_Modern_Engines_Vol_VI\).jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Froude's_hydraulic_dynamometer_section_(Rankin_Kennedy_Modern_Engines_Vol_VI).jpg), datum pristupa 2012-12
- [22] Cox International, stalak za pričvršćivanje Cox motora, <http://coxengines.ca/engine-test-stand-for-cox-010-020-049-51.html>, datum pristupa 2013-01.
- [23] E-bay, laserski mjerač brzine vrtnje, http://www.ebay.com/itm/New-Digital-LCD-Laser-Display-Optical-Tachometer-RPM-/180553043583?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item2a09ccce7f, datum pristupa 2013-01.
- [24] Mouser electronics, choosing an electronic sensor, http://www2.electronicproducts.com/Choosing_a_sensor_to_measure_rotation-article-SEPCHER1-sep1999-html.aspx, datum pristupa 2013-01
- [25] Taghirad, Velocity Measurement, Wiegand sensors, K.N.T. University of Technology, <http://saba.kntu.ac.ir/eecd/ecourses/inst%2086/Projects/Velocity%20Measurement/Wiegand%20Effect%20Sensors.htm>, datum pristupa 2013-01.
- [26] Toplina izgaranja, http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_of_combustion, datum pristupa 2013-02.
- [27] Robert Scott, RPM from Sound, <http://www.tunelab-world.com/rpmsound.html>, datum pristupa 2013-02.
- [28] Tvrtka Aeroboss, proizvodi, <http://www.aeroboss.com.ua/at3.php>, datum pristupa 2013-02.
- [29] Hyper Physics, načini mjerenja fizikalnih pojava, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/math/fft.html>, datum pristupa 2013-02.

PRILOZI

I. CD-R disc